

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

М.М. БЕЗРУКИХ, В.Д. СОНЬКИН, Д.А. ФАРБЕР

ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ (ФИЗИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ РЕБЕНКА)

Допущено

Учебно-методическим объединением по специальностям педагогического образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: 030900 - дошкольная педагогика и психология; 031100 - педагогика и методика дошкольного образования

Москва

ACADEMA
2003

УДК 159.922.7/8

ББК88.8

Б 39

Авторы:

М.М. Безруких I (1, 2), III (15), IV (18-23).
В.Д. Сонькин I (1, 3), II (4-10), III (17), IV (18-22),
Д.Л. Фарбер I (2), III (11-14, 16), IV (18-23)

Рецензенты:

доктор биологических наук, зав. кафедрой высшей нервной деятельности
и психофизиологии Санкт-Петербургского университета, академик РАО,
профессор *А. С. Батуев*;
доктор биологических наук, профессор *И.А. Корниенко*

Безруких М.М. и др.

Б39 **Возрастная физиология: (Физиология развития ребенка):**
Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / М. М. Без-
руких, В. Д. Сонькин, Д. А. Фарбер. — М.: Издательский центр
«Академия», 2003. — 416 с.

ISBN 5-7695-0581-8

В учебном пособии представлены современные концепции онтогенеза человека с учетом новейших достижений антропологии, анатомии, физиологии, биохимии, нейро- и психофизиологии и т.п. Рассмотрены морфофункциональные особенности ребенка на основных этапах возрастного развития, их связь с процессами социализации, в том числе с обучением и воспитанием. Книга иллюстрирована большим количеством схем, таблиц, рисунков, облегчающих усвоение материала, предложены вопросы для самопроверки.

УДК 159.922.7/8

ББК 88.8

ISBN 5-7695-0581-8

© Безруких М.М., Сонькин В.Д., Фарбер Д.А., 2002
© Издательский центр «Академия», 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выяснение закономерностей развития ребенка, специфики функционирования физиологических систем на разных этапах онтогенеза и механизмов, эту специфику определяющих, является необходимым условием обеспечения нормального физического и психического развития подрастающего поколения.

Главные вопросы, которые должны возникать у родителей, педагогов и психологов в процессе воспитания и обучения ребенка дома, в детском саду или в школе, на консультативном приеме или индивидуальных занятиях, — это какой он, каковы его особенности, какой вариант занятий с ним будет наиболее эффективным. Ответить на эти вопросы совсем не просто, ибо для этого требуются глубокие знания о ребенке, закономерностях его развития, возрастных и индивидуальных особенностях. Эти знания чрезвычайно важны и для разработки психофизиологических основ организации учебной работы, выработки у ребенка механизмов адаптации, определения влияния на него инновационных технологий и т. п.

Пожалуй, впервые значимость комплексного знания физиологии и психологии для педагога и воспитателя выделил известный русский педагог К.Д.Ушинский в своем труде «Человек как предмет воспитания» (1876). «Искусство воспитания, — писал К.Д.Ушинский, — имеет ту особенность, что почти всем оно кажется делом знакомым и понятным, а иным даже — делом легким, — и тем понятнее и легче кажется оно, чем менее человек с ним знаком теоретически и практически. Почти все признают, что воспитание требует терпения; некоторые думают, что для него нужны врожденная способность и умение, т.е. навык; но весьма немногие пришли к убеждению, что, кроме терпения, врожденной способности и навыка необходимы еще и специальные знания, хотя многочисленные блуждания наши и могли бы всех убедить в этом». Именно К.Д.Ушинский показал, что физиология относится к числу тех наук, в которых «излагаются, сличаются и группируются факты и те соотношения фактов, в которых обнаруживаются свойства предмета воспитания, т.е. человека». Анализируя физиологические знания, которые были известны, а это было время становления возрастной физиологии, К.Д.Ушинский подчеркивал: «Из этого источника, только что открывающегося, воспитание почти еще не черпало». К сожалению, и сейчас мы не можем говорить о широком использовании данных возрастной физиологии в педагогической науке. Единообразии программ, методик, учебников

ушло в прошлое, но педагог по-прежнему мало учитывает возрастные и индивидуальные особенности ребенка в процессе обучения.

В то же время педагогическая эффективность процесса обучения во многом зависит от того, насколько формы и методы педагогического воздействия адекватны возрастным физиологическим и психофизиологическим особенностям школьников, соответствуют ли условия организации учебного процесса возможностям детей и подростков, учитываются ли психофизиологические закономерности формирования базисных школьных навыков — письма и чтения, а также основных двигательных навыков в процессе занятий.

Физиология и психофизиология ребенка — необходимый компонент знаний любого специалиста, работающего с детьми, — психолога, воспитателя, учителя, социального педагога. «Воспитание и обучение имеет дело с целостным ребенком, с его целостной деятельностью, — считал известный российский психолог и педагог В. В. Давыдов. — Эта деятельность, рассматриваемая как особый объект изучения, содержит в своем единстве много аспектов, в том числе... физиологический (В. В. Давыдов «Проблемы развивающегося обучения». — М, 1986. — С. 167).

Возрастная физиология — наука об особенностях жизнедеятельности организма, о функциях его отдельных систем, процессах, в них протекающих, и механизмах их регуляции на разных этапах индивидуального развития. Частью ее является изучение физиологии ребенка в разные возрастные периоды.

Учебное пособие по возрастной физиологии для студентов педагогических вузов содержит знания о развитии человека на тех этапах, когда наиболее значимо влияние одного из ведущих факторов развития — обучения.

Предметом возрастной физиологии (физиологии развития ребенка) как учебной дисциплины являются особенности развития физиологических функций, их формирования и регуляции, жизнедеятельности организма и механизмов его приспособления к внешней среде на разных этапах онтогенеза.

Основные понятия возрастной физиологии:

Организм — сложнейшая, иерархически (соподчиненно) организованная система органов и структур, обеспечивающих жизнедеятельность и взаимодействие с окружающей средой. Элементарной единицей организма является **клетка**. Совокупность клеток, сходных по происхождению, строению и функции, образует **ткань**. Ткани образуют органы, выполняющие определенные функции. **Функция** — специфическая деятельность органа или системы.

Физиологическая система — совокупность органов и тканей, связанных общей функцией.

Функциональная система — динамическое объединение различных органов или их элементов, деятельность которых направлена на достижение определенной цели (полезного результата).

Что касается структуры предлагаемого учебного пособия, то оно выстроено так, чтобы у студентов сформировалось четкое представление о закономерностях развития организма в процессе онтогенеза, об особенностях каждого возрастного этапа.

Мы старались не перегружать изложение анатомическими данными и в то же время считали необходимым дать основные представления о структуре органов и систем на разных этапах возрастного развития, что необходимо для понимания физиологических закономерностей организации и регуляции физиологических функций.

Книга состоит из четырех разделов. В разделе I — «Введение в физиологию развития» — раскрывается предмет физиологии развития как составной части возрастной физиологии, дается представление о важнейших современных физиологических теориях онтогенеза, вводятся базовые понятия, без которых невозможно понимание основного содержания учебника. В этом же разделе дается самое общее представление об устройстве организма человека и его функциях.

Раздел II — «Организм и среда» — дает представление об основных этапах и закономерностях роста и развития, о важнейших функциях организма, обеспечивающих взаимодействие организма с окружающей средой и приспособление его к изменяющимся условиям, о возрастном развитии организма и характерных особенностях этапов индивидуального развития.

В разделе III — «Организм как целое» — содержится описание деятельности систем, интегрирующих организм в единое целое. В первую очередь это центральная нервная система, а также вегетативная нервная система и система гуморальной регуляции функций. Основные закономерности возрастного развития головного мозга и его интегративной деятельности — ключевой аспект содержания данного раздела.

Раздел IV — «Этапы развития ребенка» — содержит морфофизиологическое описание основных этапов развития ребенка от рождения до подростково-юношеского возраста. Этот раздел наиболее важен для практиков, непосредственно работающих с ребенком, для которых важно знать и понимать основные морфофункциональные возрастные особенности организма ребенка на каждом из этапов его развития. Чтобы понять содержание этого раздела, необходимо освоить весь материал, представленный в трех предыдущих. Этот раздел завершает глава, в которой рассматривается влияние социальных факторов на развитие ребенка.

В конце каждой главы помещены вопросы для самостоятельной работы студентов, которые позволяют освежить в памяти основные положения изучаемого материала, требующие особого внимания.

Раздел I

ВВЕДЕНИЕ В ВОЗРАСТНУЮ ФИЗИОЛОГИЮ

Глава 1. ПРЕДМЕТ ВОЗРАСТНОЙ ФИЗИОЛОГИИ (ФИЗИОЛОГИИ РАЗВИТИЯ)

Взаимосвязь возрастной физиологии с другими науками

К моменту рождения организм ребенка еще очень далек от зрелого состояния. Человеческий детеныш рождается маленьким, беспомощным, он не может выжить без ухода и заботы взрослых. Необходимо много времени, чтобы он вырос и стал полноценным зрелым организмом.

Раздел физиологической науки, изучающий биологические закономерности и механизмы роста и развития, называется *возрастной физиологией*. Развитие многоклеточного организма (а организм человека состоит из нескольких миллиардов клеток) начинается в момент оплодотворения. Весь жизненный цикл организма — от зачатия до смерти — называется *индивидуальное развитие*, или *онтогенез*.

Закономерности и особенности жизнедеятельности организма на ранних этапах онтогенеза традиционно являются предметом исследования *возрастной физиологии* (физиологии развития ребенка).

Физиология развития ребенка концентрирует свой интерес на тех этапах, которые представляют наибольший интерес для воспитателя, педагога, школьного психолога: от рождения до морфофункционального и психосоциального созревания. Более ранние этапы, относящиеся к внутриутробному развитию, исследует наука *эмбриология*. Более поздние этапы, от достижения зрелости до старости, изучают *нормальная физиология* и *геронтология*.

Человек в своем развитии подчиняется всем основным законам, установленным Природой для любого развивающегося многоклеточного организма, и поэтому физиология развития представляет собой один из разделов гораздо более широкой области знания — *биологии развития*. В то же время в динамике роста, развития и созревания человека имеется немало специфических, особенных черт, присущих только виду *Homo sapiens* (Человек ра-

зумный). В этой плоскости физиология развития теснейшим образом переплетается с наукой *антропологией*, в задачи которой входит всестороннее изучение человека.

Человек всегда живет в конкретных условиях окружающей среды, с которой он взаимодействует. Непрерывное взаимодействие и приспособление к среде обитания — общий закон существования живого. Человек научился не только приспосабливаться к среде, но и изменять окружающий его мир в необходимом направлении. Однако это не избавило его от воздействия факторов окружающей среды, причем на разных этапах возрастного развития набор, сила действия и результат воздействия этих факторов могут быть различны. Это определяет связь физиологии с *экологической физиологией*, которая изучает воздействие на живой организм разнообразных факторов внешней среды и способы приспособления организма к действию этих факторов.

В периоды интенсивного развития особенно важно знать, как действуют на человека факторы среды, как влияют различные факторы риска. Этому традиционно уделяется повышенное внимание. И тут физиология развития тесно взаимодействует с *гигиеной*, поскольку именно физиологические закономерности чаще всего выступают в качестве теоретических основ гигиенических требований и рекомендаций.

Роль условий жизни, причем не только «физических», но и социальных, психологических, в формировании здорового и приспособленного к жизни человека очень велика. Ребенок должен с раннего детства осознавать ценность своего здоровья, владеть необходимыми навыками его сохранения.

Формирование ценности здоровья и здорового образа жизни — задачи педагогической *валеологии*, которая черпает фактический материал и основные теоретические положения из физиологии развития.

И наконец, физиология развития представляет собой естественно-научную основу *педагогики*. При этом физиология развития неразрывно связана с психологией развития, поскольку для каждого человека его биологическое и личностное составляют единое целое. Недаром любое биологическое повреждение (болезнь, травма, генетические нарушения и т. п.) неминуемо сказывается на развитии личности. Педагог должен одинаково хорошо ориентироваться в проблемах возрастной психологии и физиологии развития: только в этом случае его деятельность принесет реальную пользу его ученикам.

Теоретические и прикладные задачи возрастной физиологии

Любая наука может развиваться только в том случае, если она ищет ответы на важные вопросы, от решения которых зависит

наше понимание мира и способы нашего воздействия на него. Первая категория представляет собой теоретические, а вторая — прикладные задачи науки.

Главной *теоретической задачей физиологии развития* является выяснение основных закономерностей возрастного развития. За сто с лишним лет, в течение которых формируется эта наука, были открыты многие законы, по которым растет и развивается организм от зачатия до биологического созревания. Под *биологическим созреванием* человека следует понимать достижение такого уровня морфологического, физиологического, личностного и социального развития, когда индивид способен произвести здоровое жизнеспособное потомство и обеспечить его нормальное развитие. Следует специально подчеркнуть, что в понятие биологического созревания наряду с чисто биологическими (морфологическими и физиологическими) критериями включены психологические и социальные критерии развития.

Знание основных закономерностей возрастного развития позволяет подойти к решению двух *практических задач педагогики и педиатрии*. Первая из них — оценка так называемой «возрастной нормы». Действительно, и для врача, и для педагога очень важно понимать, нормально ли развит ребенок, с которым ему предстоит работать. Любое существенное отклонение в темпах развития означает, что к такому ребенку необходимо применять специальные, нестандартные приемы воспитания или лечения. Поэтому установление параметров возрастной нормы — одна из важнейших прикладных задач физиологии развития, решаемых уже многие десятилетия. По ходу решения этой задачи были выявлены многие феномены, в частности то обстоятельство, что темпы роста и развития детей зависят от большого количества известных и неизвестных факторов. Так, было убедительно доказано, что тяжелые социально-экономические ситуации (войны, революции, стихийные бедствия) крайне негативно сказываются на динамике возрастного развития детского населения. Напротив, благоприятное социально-экономическое положение общества способствует нормализации процессов роста и развития. Однако существуют и не вполне ясные науке обстоятельства, влияющие на темпы биологического развития. Так, явление *акселерации роста и развития*, которое наблюдалось почти 100 лет в странах Европы и Нового Света, прекратилось так же неожиданно, как и началось, причем его причины так и остались до конца не разгаданными.

Другой ряд фактов позволил установить, что темп развития и конечный уровень развития многих свойств вовсе не всегда коррелируют между собой. Нередко замедленное развитие приводит к тому, что человек, хотя и позже сверстников, достигает необычайно высокого уровня развития той или иной своей способности. И напротив, ускоренное развитие порой заканчивается

ся слишком рано, и человек, подававший большие надежды в ранние годы, так и не достигает больших высот в зрелом возрасте. Об этом, в частности, свидетельствуют биографии многих «вундеркиндов». Между тем выраженные отклонения в темпах роста и развития наблюдаются гораздо реже, чем небольшие отклонения, проявляющиеся в умеренном отставании или опережении. Как к ним относиться? Ответ на этот вопрос призвана дать физиология развития, которая как раз и должна выработать критерии, по которым практические работники смогут судить о том, насколько существенны выявленные отклонения от нормы, и нужно ли что-либо предпринимать для их устранения или смягчения их последствий.

Другой вопрос, имеющий важное значение для практики, — определение временных границ возрастных периодов, или *возрастная периодизация* онтогенеза. Одни ученые считают, что развитие ребенка протекает непрерывно, и поэтому говорить о каких-либо его этапах, или периодах, бессмысленно. Так полагает, в частности, британская школа антропологов, среди которых немало выдающихся ученых, чьи труды лежат в основе физиологии развития, — Таннер, Харрисон и другие. Напротив, российская научная школа, ведущая свою историю от Н.П.Гундобина, В.В.Бунака, П.К.Анохина и А.А. Маркосяна, считает вопрос о периодах онтогенеза одним из узловых и посвящает этой проблеме большое число исследований, научных конференций, дискуссий, публикаций. Представления о гетерохронности развития и неравномерности онтогенетического процесса, о чем речь более конкретно пойдет ниже, лежат в основе различных моделей периодизации онтогенеза, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки. Между тем для решения практических задач выбор одной из указанных моделей крайне актуален, поскольку от этого зависит, например, ответ на вопрос, в каком возрасте можно начинать систематическое обучение в школе.

К проблеме возрастной периодизации непосредственно при­мыкает задача выявления *сенситивных и критических периодов развития*. Уже достаточно хорошо известно, что некоторые свойства организма особенно зависимы от внешних воздействий на определенных этапах своего формирования. Ясно, сколь большое значение эта информация может иметь для педагогов. Поэтому выявление такого рода *сенситивных*, т.е. наиболее чувствительных к внешнему воздействию, периодов — весьма важная задача физиологии развития.

В последние годы появились новые импульсы для развития конституционального направления антропологических, физиологических, биохимических и психологических исследований возраст­ного развития. В определенной мере это связано с высоким уровнем развития современного спорта: высшее спортивное мастерство тре-

бует стопроцентного использования задатков спортсмена, а подготовка каждого чемпиона стоит колоссальных средств, поэтому спортивные менеджеры и тренеры хотят уже на самых ранних этапах знать, насколько перспективен тот или иной начинающий спортсмен. Учитывая, что спортом теперь дети начинают заниматься в возрасте 4—6 лет, можно представить себе, сколь велика роль физиологии развития в правильной организации спортивной подготовки будущих чемпионов, да и просто здоровых граждан. Именно поэтому многие исследователи заняты изучением индивидуально-типологических особенностей роста и развития. Эти же аспекты в последнее время привлекают все большее внимание школьных педагогов, что связано с расширением специализации школьного образования. Выявление одаренных детей и их гармоничное развитие и воспитание — перспективное направление психолого-педагогических исследований и педагогической практики, базирующееся на достаточно строгих физиологических закономерностях.

Методы исследований в возрастной физиологии

Наука является полноценной в том случае, если ее методический арсенал соответствует задачам, которые ей приходится решать. Для возрастной физиологии важнейшая задача — изучение динамики и закономерностей изменений физиологических функций в процессе индивидуального развития. Ответы на самые разнообразные частные вопросы, возникающие по ходу такого изучения, дают два метода организации исследования, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, но оба широко применяются в физиологии развития. Это методы *поперечного (кросс-секционного)* и *продольного (лонгитудинального)* исследований.

Метод поперечного исследования (кросс-секционный) представляет собой параллельное, одновременное изучение тех или иных свойств у представителей различных возрастных групп. Сопоставление уровня развития изучаемого свойства у детей разного возраста позволяет вывести важные закономерности онтогенетического процесса. Примером такого исследования может служить одновременное (в течение нескольких дней) диспансерное обследование состояния здоровья, уровня физического и моторного развития у учащихся всех классов какой-нибудь школы. Сравнивая показатели, полученные, например, у первоклассников, пятиклассников и выпускников школы, физиолог может установить, как и насколько изменяются изучаемые им физиологические функции в разном возрасте. Такой метод сравнительно прост в организации, относительно дешев и позволяет применить одни и те же стандартные методики и приборы для обследования детей раз-

личных возрастов. Применение современных приемов статистической обработки данных позволяет получать таким методом достаточно надежные и доказательные результаты, но только в том случае, если обследуемые возрастно-половые группы (выборки) достаточно велики. По современным статистическим критериям, для надежности выводов, полученных в поперечных исследованиях, необходимо, чтобы выборка (то есть группа обследуемых одного пола и возраста) составляла не менее 20—30 человек. При разработке гигиенических нормативов считается необходимым, чтобы выборка составляла не менее 100 человек одного возраста и пола. Недостаток этого метода состоит в том, что исследователь никогда не может четко определить темп изменений изучаемых им показателей: он видит только результаты, полученные в отдельных «точках» возрастной шкалы, соответствующих возрасту обследованных детей, но не может с уверенностью судить о динамике происходящих процессов.

Метод продольного исследования применяется тогда, когда нужно составить представление именно о динамике процесса и индивидуальных особенностях этой динамики. Этот метод заключается в длительном (многие месяцы, иногда — годы) наблюдении за одними и теми же детьми. Регулярно (частота зависит от используемых методик и процедур) детей обследуют с помощью стандартного набора методик, что позволяет подробно рассмотреть динамику происходящих в организме возрастных изменений. Благодаря этому выборка для продольного исследования может быть совсем небольшой. Международные научные журналы признают группу в 5—6 человек достаточной для проведения подобных исследований. В некоторых случаях даже наблюдения за одним единственным ребенком позволяют выявить весьма важные закономерности. Так, кривая роста человека впервые была построена в XVII в. на основе наблюдений за мальчиком из богатой дворянской французской семьи, проводившихся в течение 18 лет одним и тем же врачом, опубликовавшим впоследствии полученные результаты. В дальнейшем такие кривые роста строили многие исследователи, но ничего принципиально нового они добавить не смогли, если не считать индивидуальных особенностей и последствий акселерации (ускорения роста и развития детей в XX в.). Метод продольного наблюдения очень сложен в организации и дорог, однако эти его недостатки с лихвой окупаются полнотой полученной научной информации.

Методический арсенал возрастной физиологии

Возрастная физиология относится к естественно-научным дисциплинам, поэтому применяемые ею методы в большинстве слу-

чаев позволяют получать количественные оценки. Этим она существенно отличается от большинства гуманитарных наук, которые используют главным образом качественные характеристики изучаемых ими объектов.

Для оценки роста и развития ребенка используется набор методик, которые традиционно применяются биологическими и медицинскими науками. Первое место в таких исследованиях занимают антропометрические и физиометрические показатели.

Антропометрия — это измерение морфологических характеристик тела, что позволяет количественно описать его строение. Масса и длина тела, окружность грудной клетки и талии, обхват плеча и голени, толщина кожно-жировой складки — все это (и многое другое) традиционно измеряют антропологи с помощью медицинских весов, ростомера, антропометра и других специальных приспособлений. Именно такого рода показатели используются для оценки *физического развития* детей.

Наряду с антропометрическими почти столь же часто измеряют *физиометрические* показатели. К ним относятся жизненная емкость легких (ЖЕЛ), сила сжатия кисти, становая сила и др. Эти показатели отражают одновременно и уровень анатомического развития, и некоторые функциональные возможности организма.

В возрастной физиологии широко применяют физиологические и биохимические методы исследования.

Физиологические методы позволяют судить о функциональных возможностях организма и динамике протекания тех или иных функциональных процессов в нем. Для этого используются различные приборы, позволяющие количественно регистрировать сами физиологические процессы, либо те или иные их физические проявления (например, электрические потенциалы, вырабатываемые клетками организма в процессе их функционирования). Современная физиология использует широкий арсенал физических приборов, позволяющих изучать происходящие в организме процессы, недоступные непосредственному наблюдению. Например, запись дыхательных движений (спирограмма) и исследование скоростей воздушных потоков на разных этапах дыхательного цикла (пневмотахометрия) — важнейшие приемы исследования функции дыхания. Одновременно с помощью специальных газоанализаторов измеряют содержание газов в выдыхаемом воздухе и на этом основании точно рассчитывают скорость потребления организмом кислорода и выделения углекислого газа. Работу сердца изучают с помощью электрокардиографии, эхокардиографии или механокардиографии. Для измерения кровяного давления используют специальные манометры, а скорость протекания крови по сосудам тела измеряют с помощью механических или электрических плетизмографов. Огромный прогресс в исследованиях функции мозга достигнут благодаря изучению

электроэнцефалограммы — электрических потенциалов, вырабатываемых клетками мозга в процессе их жизнедеятельности. В исследовательских целях иногда применяют рентгеновские, ультразвуковые, магниторезонансные и другие методы. Современные физиологические приборы обычно оборудованы специализированными компьютерами и программным обеспечением, которые значительно облегчают работу исследователя и повышают точность и надежность получаемых результатов.

Биохимические методы позволяют изучать состав крови, слюны, мочи и других жидких сред и продуктов жизнедеятельности организма. В экспериментах на животных с помощью биохимических и гистохимических методов удается выяснить возрастные изменения содержания и активности многих ферментов непосредственно в тканях организма. Биохимические исследования — важнейшая составная часть изучения эндокринной системы, пищеварения, кроветворения, деятельности почек, иммунитета, а также целого ряда других систем и функций организма.

Функциональные пробы. Важнейшей методологической концепцией в физиологии XX в. следует признать осознание необходимости исследовать любую физиологическую систему в процессе ее функциональной активности. Этот подход весьма актуален и для исследований в области физиологии развития. С этой целью применяются различного рода функциональные пробы. Например, дозированные нагрузки (умственные — для выяснения механизмов умственной работоспособности, физические -- для оценки мышечной работоспособности и ее физиологических механизмов); пробы с произвольной активацией или задержкой дыхания — при исследовании дыхательной функции; водные и солевые нагрузки — при оценке функциональных возможностей выделительной системы; температурные воздействия — при изучении механизмов терморегуляции и т.п. Важнейшее значение функциональные пробы имеют при изучении системной организации деятельности головного мозга, поскольку именно в процессе решения тех или иных задач как раз и проявляются возрастные особенности организации взаимодействия мозговых структур.

Естественный эксперимент. Физиология развития имеет дело с постоянно изменяющимся организмом ребенка, подвергающимся целому ряду воздействий, изоляция от которых невозможна. Научная этика запрещает многие экспериментальные процедуры при исследованиях ребенка. В частности, с детьми невозможно производить любые манипуляции, которые могут привести к их заболеванию или травме.

В то же время различные социальные катаклизмы (войны, катастрофы), экстремальные условия, в которых оказываются люди, представляют собой естественный эксперимент, порой весьма сильно влияющий на состояние здоровья и темпы развития детей, во-

лею судьбы попавших в эти условия. В частности, многие факты, составляющие ныне базу данных для теоретических и прикладных концепций возрастной физиологии, были получены при исследовании детских популяций в слаборазвитых странах Африки, Азии и Латинской Америки, где дети не получают достаточного питания и по этой причине страдают от различных пороков развития.

Весьма существенные различия могут быть выявлены у детей, растущих в разных социально-экономических условиях, которые исследователь не в силах изменить, но может оценить их воздействие на ребенка. Например, сравнение детей из бедных и состоятельных семей, жителей крупных городов и жителей сельской местности с неразвитой социоиндустриальной инфраструктурой и т.п. Самые разнообразные педагогические и оздоровительные технологии также могут по-разному влиять на детский организм. Поэтому сопоставление физиологических показателей детей, посещающих разные детские сады или школы, — одна из форм проведения естественного эксперимента.

Моделирование экспериментальное и математическое. Естественный эксперимент не способен обеспечить решение всех задач, возникающих в процессе изучения физиологических закономерностей роста и развития. В связи с этим экспериментатор вынужден использовать различного рода модели. Например, изучение закономерностей ростовых процессов у лабораторных животных представляет собой экспериментальную модель, с ее помощью выявляются многие аспекты развития, которые нельзя изучать при исследовании детей. В частности, анализ возрастных преобразований на тканевом и клеточном уровне проводится почти исключительно на экспериментальных моделях с использованием лабораторных животных. Применение такой методологии возможно благодаря тому, что во многих отношениях развитие человека подчиняется тем же физиологическим законам, что и развитие других многоклеточных живых организмов.

В тех случаях, когда теоретическая схема протекания того или иного процесса позволяет описать его на языке математических алгоритмов, используют математические модели (особенно часто — со второй половины XX в. в связи с распространением компьютеров). Такое моделирование позволяет прогнозировать результаты воздействий, которые невозможно или крайне сложно осуществить в реальной жизни. Математические модели, как правило, не позволяют добыть новые научные факты, но дают возможность исследователю убедиться, насколько верна логика, которую он выстроил для объяснения наблюдаемых эффектов. Кроме того, математические модели позволяют вычислять предельно допустимые параметры тех или иных воздействий, а также параметры максимальных ответных реакций организма на разного рода экстремальные воздействия. Таким образом, математические мо-

дели не могут заменить физиологический эксперимент, но позволяют сделать его безопасным, не несущим риска для здоровья испытуемого.

Статистические методы и системный анализ. Все количественные показатели и все научные выводы в физиологии развития носят статистический характер, т.е. отражают наиболее вероятное протекание событий или наиболее вероятный уровень измеряемого показателя. Для работы с подобными вероятностными величинами разработаны специальные математические приемы, которые основаны на теории вероятности и называются статистическими методами. Современные компьютерные средства, оснащенные специальными программами, существенно облегчают задачу статистической обработки результатов, позволяя вскрывать наиболее существенные закономерности, функциональные связи и строить математические модели происходящих процессов. Особое значение в физиологии развития имеют методы системного анализа, позволяющего рассматривать организм не как набор отдельных органов и физиологических систем, а как единую систему, саморегулирующуюся и способную приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды. Не случайно системный подход к анализу явлений жизни зародился и в недрах физиологии.

Становление возрастной физиологии

То, что ребенок отличается от взрослого многими свойствами, на бытовом уровне понимает каждый. Однако научное изучение возрастных особенностей детского организма началось сравнительно недавно — во второй половине XIX в. Вскоре после открытия закона сохранения энергии физиологи обнаружили, что ребенок потребляет в течение суток ненамного меньше энергии, чем взрослый, хотя размеры тела ребенка намного меньше. Этот факт требовал рационального объяснения. В поисках этого объяснения немецкий физиолог **Макс Рубнер** провел изучение скорости энергетического обмена у собак разного размера и обнаружил, что более крупные животные в расчете на 1 кг массы тела расходуют энергии значительно меньше, чем мелкие. Подсчитав площадь поверхности тела, Рубнер убедился, что отношение количества потребляемой энергии пропорционально именно величине поверхности тела — и это неудивительно: ведь вся потребляемая организмом энергия должна быть выделена в окружающую среду в виде тепла, т.е. поток энергии зависит от поверхности теплоотдачи. Именно различиями в соотношении массы и поверхности тела Рубнер объяснил разницу в интенсивности энергетического обмена между крупными и мелкими животными, а заодно — между взрослыми и детьми. «Правило поверхности» Рубнера стало одним из пер-

вых фундаментальных обобщений в физиологии развития и в экологической физиологии.

Этим правилом объясняли не только различия в величине теплопродукции, но также в частоте сердечных сокращений и дыхательных циклов, легочной вентиляции и объеме кровотока, а также в других показателях деятельности вегетативных функций. Во всех этих случаях интенсивность физиологических процессов в детском организме существенно выше, чем в организме взрослого.

Такой сугубо количественный подход характерен для немецкой физиологической школы XIX в., освященной именами выдающихся физиологов **Э.Ф.Пфлюгера**, **Г.Л.Гельмгольца** и других. Их трудами физиология была поднята до уровня естественных наук, стоящих в одном ряду с физикой и химией. Однако русская физиологическая школа, хотя и уходила корнями в немецкую, всегда отличалась повышенным интересом к качественным особенностям и закономерностям.

Выдающийся представитель русской педиатрической школы доктор Николай Петрович Гундобин еще в самом начале XX в. утверждал, что ребенок — не просто маленький, он еще и во многом не такой, как взрослый. Его организм устроен и работает иначе, причем на каждом этапе своего развития детский организм прекрасно приспособлен к тем конкретным условиям, с которыми ему приходится сталкиваться в реальной жизни.

Эти идеи разделял и развивал замечательный русский физиолог, педагог и гигиенист **Петр Францевич Лесгафт**, заложивший основы школьной гигиены и физического воспитания детей и подростков. Он считал необходимым глубокое изучение детского организма, его физиологических возможностей.

Наиболее отчетливо центральную проблему физиологии развития сформулировал в 20-е годы XX в. немецкий врач и физиолог **Э.Гельмрейх**. Он утверждал, что различия между взрослым и ребенком находятся в двух плоскостях, которые необходимо рассматривать по возможности независимо, как два самостоятельных аспекта: ребенок как *маленький* организм и ребенок как *развивающийся* организм. В этом смысле «правило поверхности» Рубнера рассматривает ребенка только в одном аспекте — именно как маленький организм. Значительно более интересными представляются те особенности ребенка, которые характеризуют его как организм развивающийся.

К одной из таких принципиальных особенностей относится открытое в конце 30-х годов **Ильей Аркадьевичем Аршавским** неравномерное развитие симпатических и парасимпатических влияний нервной системы на все важнейшие функции детского организма. И.А.Аршавский доказал, что симпатотонические механизмы созревают значительно раньше, и это создает важное качественное своеобразие функционального состояния детского организма. Сим-

патический отдел вегетативной нервной системы стимулирует активность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также обменные процессы в организме. Такая стимуляция вполне адекватна для раннего возраста, когда организм нуждается в повышенной интенсивности обменных процессов, необходимой для обеспечения процессов роста и развития. По мере созревания организма ребенка усиливаются парасимпатические, тормозящие влияния. В результате снижается частота пульса, частота дыхания, относительная интенсивность энергопродукции.

Проблема неравномерности гетерохронности (разновременности) развития органов и систем стала центральным объектом исследования выдающегося физиолога академика **Петра Кузьмича Анохина** и его научной школы. Им была в 40-е годы сформулирована концепция *системогенеза*, согласно которой последовательность разворачивающихся в организме событий выстраивается таким образом, чтобы удовлетворять меняющимся по ходу развития потребностям организма. При этом П.К.Анохин впервые перешел от рассмотрения анатомически целостных систем к изучению и анализу функциональных связей в организме.

Другой выдающийся физиолог **Николай Александрович Бернштейн** показал, как постепенно в онтогенезе формируются и усложняются алгоритмы управления произвольными движениями, как механизмы высшего управления движениями распространяются с возрастом от наиболее эволюционно древних подкорковых структур головного мозга к более новым, достигая все более высокого уровня «построения движений». В работах Н. А. Бернштейна впервые было показано, что направление онтогенетического прогресса управления физиологическими функциями отчетливо совпадает с направлением филогенетического прогресса. Таким образом, на физиологическом материале была подтверждена концепция Э. Геккеля и А. Н. Северцова о том, что индивидуальное развитие (онтогенез) представляет собой ускоренное эволюционное развитие (филогенез).

Крупнейший специалист в области теории эволюции академик **Иван Иванович Шмальгаузен** также многие годы занимался вопросами онтогенеза. Материал, на котором И. И. Шмальгаузен делал свои выводы, редко имел прямое отношение к физиологии развития, но выводы из его трудов о чередовании этапов роста и дифференцировок, а также методологические работы в области изучения динамики ростовых процессов, выполненные в 30-е годы, и до сих пор имеют огромное значение для понимания важнейших закономерностей возрастного развития.

В 60-е годы физиолог **Акоп Арташесович Маркосян** выдвинул концепцию биологической надежности как одного из факторов онтогенеза. Она опиралась на многочисленные факты, которые свидетельствовали, что надежность функциональных систем по

мере взросления организма существенно увеличивается. Это подтверждалось данными по развитию системы свертывания крови, иммунитета, функциональной организации деятельности мозга. В последние десятилетия накопилось много новых фактов, подтверждающих основные положения концепции биологической надежности А.А. Маркосяна.

Вопросы и задания

1. Расскажите о взаимосвязи физиологии развития с другими науками.
2. Каковы теоретические и прикладные задачи физиологии развития?
3. Расскажите о методах поперечного и продольного исследований в физиологии развития.
4. Из чего состоит методический арсенал физиологии развития?
5. Расскажите, как протекало становление физиологии развития.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗРАСТНОЙ ФИЗИОЛОГИИ (ФИЗИОЛОГИИ РАЗВИТИЯ)

Системный принцип организации физиологических функций в онтогенезе

Важность выявления закономерностей развития организма ребенка и особенностей функционирования его физиологических систем на разных этапах онтогенеза для охраны здоровья и разработки адекватных возрасту педагогических технологий определила поиск оптимальных путей изучения физиологии ребенка и тех механизмов, которые обеспечивают адаптивный приспособительный характер развития на каждом этапе онтогенеза.

Согласно современным представлениям, начало которым было положено еще работами А. Н. Северцова в 1939 г., все функции складываются и претерпевают изменения при тесном взаимодействии организма и среды. В соответствии с этим представлением адаптивный характер функционирования организма в различные возрастные периоды определяется двумя важнейшими факторами: морфофункциональной зрелостью физиологических систем и адекватностью воздействующих средовых факторов функциональным возможностям организма.

Традиционным для отечественной физиологии (И. М. Сеченов, И. П. Павлов, А. А. Ухтомский, Н. А. Бернштейн, П. К. Анохин и др.) является системный принцип организации адаптивного реагирования на факторы внешней среды. Этот принцип, рассматри-

ваемый как базовый механизм жизнедеятельности организма, подразумевает, что все виды приспособительной деятельности физиологических систем и целостного организма осуществляются посредством иерархически организованных динамических объединений, включающих отдельные элементы одного или разных органов (физиологических систем).

Важнейший вклад в изучение принципов динамической системной организации приспособительных действий организма внесли исследования А.А.Ухтомского, выдвинувшего принцип доминанты как функционального рабочего органа, определяющего адекватное реагирование организма на внешние воздействия. Доминанта, по А.А.Ухтомскому, представляет собой объединенную единством действия констелляцию нервных центров, элементы которой могут быть топографически достаточно удалены друг от друга и при этом сонатроены на единый ритм работы. Касаясь механизма, лежащего в основе доминанты, А.А.Ухтомский обращал внимание на тот факт, что нормальная деятельность опирается «не на раз и навсегда определенную и поэтапную функциональную статику различных фокусов как носителей отдельных функций, а на непрестанную интерцентрально-динамическую возбудимость на разных уровнях: кортикальном, субкортикальном, медуллярном, спинальном». Тем самым подчеркивалась пластичность, значимость пространственно-временного фактора в организации функциональных объединений, обеспечивающих адаптивные реакции организма. Идеи А.А.Ухтомского о функционально-пластичных системах организации деятельности получили свое развитие в трудах Н.А. Бернштейна. Изучая физиологию движений и механизмы формирования двигательного навыка, Н.А. Бернштейн уделял внимание не только согласованной работе нервных центров, но и явлениям, происходящим на периферии тела — в рабочих точках. Это позволило ему еще в 1935 г. сформулировать положение о том, что приспособительный эффект действия может быть достигнут только при наличии в центральной нервной системе в какой-то закодированной форме конечного результата — «модели потребного будущего». В процессе сенсорного корректирования путем обратных связей, поступающих из работающих органов, создается возможность сличения информации об уже осуществленной деятельности с этой моделью.

Высказанное Н.А. Бернштейном положение о значении обратных связей в достижении приспособительных реакций имело первостепенное значение в понимании механизмов регуляции адаптивного функционирования организма и организации поведения.

Классическое представление о разомкнутой рефлекторной дуге уступило место представлению о замкнутом контуре регулирования. Очень важным положением, разработанным Н.А. Бернштейном, является установленная им высокая пластичность системы —

возможность достижения одного и того же результата в соответствии с «моделью потребного будущего» при неоднозначном пути достижения этого результата в зависимости от конкретных условий.

Развивая представление о функциональной системе как объединении, обеспечивающем организацию адаптивного реагирования, П.К.Анохин в качестве системообразующего фактора, создающего определенное упорядоченное взаимодействие отдельных элементов системы, рассматривал полезный результат действия. «Именно полезный результат составляет операциональный фактор, который способствует тому, что система... может полностью реорганизовать расположение своих частей в пространстве и во времени, что и обеспечивает необходимый в данной ситуации приспособительный результат» (Анохин).

Первостепенное значение для понимания механизмов, обеспечивающих взаимодействие отдельных элементов системы, имеет положение, развиваемое Н.П.Бехтеревой и ее сотрудниками, о наличии двух систем связей: жестких (врожденных) и гибких, пластичных. Последние наиболее важны для организации динамических функциональных объединений и обеспечения конкретных приспособительных реакций в реальных условиях деятельности.

Одной из основных характеристик системного обеспечения адаптивных реакций является иерархичность их организации (Винер). Иерархия сочетает в себе принцип автономности с принципом соподчинения. Наряду с гибкостью и надежностью для иерархически организованных систем характерна высокая энергетическая структурная и информационная экономичность. Отдельные уровни могут состоять из блоков, осуществляющих простые специализированные операции и передающих обработанную информацию на более высокие уровни системы, которые осуществляют более сложные операции и вместе с тем оказывают регулирующее влияние на более низкие уровни.

Иерархичность организации, основывающаяся на тесном взаимодействии элементов как на одном уровне, так и на разных уровнях систем, определяет высокую устойчивость и динамичность осуществляемых процессов.

В ходе эволюции формирование иерархически организованных систем в онтогенезе связано с прогрессивным усложнением и наслаиванием друг на друга уровней регулирования, обеспечивающих совершенствование адаптационных процессов (Василевский). Можно полагать, что те же закономерности имеют место и в онтогенезе.

Очевидна значимость системного подхода к изучению функциональных свойств развивающегося организма, его способности к формированию оптимального для каждого возраста адаптивного реагирования, саморегуляции, способности к активному целесо-

образному поиску информации, формированию планов и программ деятельности.

Закономерности онтогенетического развития.

Понятие возрастной нормы

Важнейшее значение для понимания того, как формируются и организуются функциональные системы в процессе индивидуального развития, имеет сформулированный А. Н. Северцовым принцип гетерохронии развития органов и систем, детально разработанный П. К. Анохиным в теории системогенеза. Эта теория базируется на экспериментальных исследованиях раннего онтогенеза, выявивших постепенное и неравномерное созревание отдельных элементов каждой структуры или органа, которые консолидируются с элементами других органов, задействованных в реализации данной функции, и, интегрируясь в единую функциональную систему, осуществляют принцип «минимального обеспечения» целостной функции. Разные функциональные системы в зависимости от их значимости в обеспечении жизненно важных функций созревают в разные сроки постнатальной жизни — это гетерохрония развития. Она обеспечивает высокую приспособляемость организма на каждом этапе онтогенеза, отражая надежность функционирования биологических систем. Надежность функционирования биологических систем, согласно концепции А. А. Маркосяна, является одним из общих принципов индивидуального развития. Она базируется на таких свойствах живой системы, как избыточность ее элементов, их дублирование и взаимозаменяемость, быстрота возврата к относительному постоянству и динамичность отдельных звеньев системы. Исследования показали (Фарбер), что в ходе онтогенеза надежность биологических систем проходит определенные этапы становления и формирования. И если на ранних этапах постнатальной жизни она обеспечивается жестким, генетически детерминированным взаимодействием отдельных элементов функциональной системы, обеспечивающим осуществление элементарных реакций на внешние стимулы, и необходимых жизненно важных функций (например, сосание), то в ходе развития все большее значение приобретают пластичные связи, создающие условия для динамичной избирательной организации компонентов системы. На примере формирования системы восприятия информации установлена общая закономерность обеспечения надежности адаптивного функционирования системы. Выделены три функционально различных этапа ее организации: 1-й этап (период новорожденности) — функционирование наиболее рано созревающего блока системы, обеспечивающего возможность реагирования по принципу «стимул— реакция»; 2-й этап

(первые годы жизни) — генерализованное однотипное вовлечение элементов более высокого уровня системы, надежность системы обеспечивается дублированием ее элементов; 3-й этап (наблюдается с дошкольного возраста) — иерархически организованная многоуровневая система регулирования обеспечивает возможность специализированного вовлечения элементов разного уровня в обработку информации и организацию деятельности. В ходе онтогенеза по мере совершенствования центральных механизмов регуляции и контроля возрастает пластичность динамического взаимодействия элементов системы; избирательные функциональные конstellации формируются в соответствии с конкретной ситуацией и поставленной задачей (Фарбер, Дубровинская). Это обуславливает совершенствование адаптивных реакций развивающегося организма в процессе усложнения его контактов с внешней средой и приспособительный характер функционирования на каждом этапе онтогенеза.

Из изложенного выше видно, что отдельные этапы развития характеризуются как особенностями морфофункциональной зрелости отдельных органов и систем, так и различием механизмов, определяющих специфику взаимодействия организма и внешней среды.

Необходимость конкретной характеристики отдельных этапов развития, учитывающей оба эти фактора, ставит вопрос о том, что рассматривать в качестве возрастной нормы для каждого из этапов.

В течение длительного времени возрастная норма рассматривалась как совокупность среднестатистических параметров, характеризующих морфофункциональные особенности организма. Такое представление о норме уходит своими корнями в те времена, когда практические потребности определяли необходимость выделить некоторые средние стандарты, позволяющие выявить отклонения развития. Несомненно, что на определенном этапе развития биологии и медицины подобный подход сыграл прогрессивную роль, позволив определить среднестатистические параметры морфофункциональных особенностей развивающегося организма; да и в настоящее время он позволяет решать ряд практических задач (например, при исчислении стандартов физического развития, нормировании воздействия факторов внешней среды и т.п.). Однако такое представление о возрастной норме, абсолютизирующее количественную оценку морфофункциональной зрелости организма на разных этапах онтогенеза, не отражает сущности возрастных преобразований, определяющих адаптивную направленность развития организма и его взаимоотношений с внешней средой. Совершенно очевидно, что если качественная специфика функционирования физиологических систем на отдельных этапах развития остается неучтенной, то понятие возрастной нор-

мы теряет свое содержание, оно перестает отражать реальные функциональные возможности организма в определенные возрастные периоды.

Представление об адаптивном характере индивидуального развития привело к необходимости пересмотра понятия возрастной нормы как совокупности среднестатистических морфологических и физиологических параметров. Было высказано положение, согласно которому возрастную норму следует рассматривать как биологический оптимум функционирования живой системы, обеспечивающий адаптивное реагирование на факторы внешней среды (Козлов, Фарбер).

Возрастная периодизация

Различия представления о критериях возрастной нормы определяют и подходы к периодизации возрастного развития. Одним из наиболее распространенных является подход, в основе которого лежит анализ оценки морфологических признаков (роста, смены зубов, увеличения массы тела и т.п.). Наиболее полная возрастная периодизация, основанная на морфологических и антропологических признаках, была предложена В. В. Бунаком, по мнению которого изменения размеров тела и связанных с ними структурно-функциональных признаков отражают преобразования метаболизма организма с возрастом. Согласно этой периодизации, в постнатальном онтогенезе выделяются следующие периоды: младенческий, охватывающий первый год жизни ребенка и включающий начальный (1—3, 4—6 мес), средний (7—9 мес) и конечный (10—12 мес) циклы; первого детства (начальный цикл 1—4 года, конечный — 5—7 лет); второго детства (начальный цикл: 8—10 лет — мальчики, 8—9 лет — девочки; конечный: 11—13 лет — мальчики, 10—12 лет — девочки); подростковый (14—17 лет — мальчики, 13—16 лет — девочки); юношеский (18—21 год — мальчики, 17—20 лет — девочки); с 21—22 лет начинается взрослый период. Эта периодизация близка к принятой в педиатрической практике (Тур, Маслов); наряду с морфологическими факторами она учитывает и социальные. Младенческому возрасту, согласно этой периодизации, соответствует младший ясельный или грудной возраст; период первого детства объединяет старший ясельный или преддошкольный возраст и дошкольный; период второго детства соответствует младшему школьному возрасту и подростковый возраст — старшему дошкольному. Однако и эту классификацию возрастных периодов, отражающую существующую систему воспитания и обучения, нельзя считать приемлемой, поскольку, как известно, вопрос о начале систематического обучения до сих пор не решен; граница между дошкольным и

школьным возрастaми требует уточнения, достаточно аморфны и понятия младшего и старшего школьного возраста.

Согласно возрастной периодизации, принятой на специальном симпозиуме в 1965 г., в жизненном цикле человека до достижения зрелого возраста выделяют следующие периоды: новорожденный (1 — 10 дней); грудной возраст (10 дней — 1 год); раннее детство (1—3 года); первое детство (4—7 лет); второе детство (8—12 лет — мальчики, 8—11 лет — девочки); подростковый возраст (13—16 лет — мальчики, 12—15 лет — девочки) и юношеский возраст (17—21 год — юноши, 16—20 лет — девушки) (Проблема возрастной периодизации человека). Эта периодизация несколько отличается от предложенной В. В. Бунаком за счет выделения периода раннего детства, некоторого смещения границ второго детства и подросткового периода. Однако проблема возрастной периодизации окончательно не решена прежде всего потому, что все существующие периодизации, включая и последнюю общепринятую, недостаточно физиологически обоснованы. Они не учитывают адаптивно-приспособительный характер развития и механизмы, обеспечивающие надежность функционирования физиологических систем и целостного организма на каждом этапе онтогенеза. Это определяет необходимость выбора наиболее информативных критериев возрастной периодизации.

В процессе индивидуального развития организм ребенка изменяется как единое целое. Его структурные, функциональные и адаптационные особенности обусловлены взаимодействием всех органов и систем на разных уровнях интеграции — от внутриклеточного до межсистемного. В соответствии с этим ключевой задачей возрастной периодизации является необходимость учета специфических особенностей функционирования целостного организма.

Одной из попыток поиска интегрального критерия, характеризующего жизнедеятельность организма, являлась предложенная Рубнером оценка энергетических возможностей организма, так называемое «энергетическое правило поверхности», отражающее отношения между уровнем обмена веществ и энергии и величиной поверхности тела. Этот показатель, характеризующий энергетические возможности организма, отражает деятельность физиологических систем, связанных с обменом веществ: кровообращения, дыхания, пищеварения, выделения и эндокринной системы. Предполагалось, что онтогенетические особенности функционирования этих систем должны подчиняться «энергетическому правилу поверхности».

Однако рассмотренные выше теоретические положения об адаптивном приспособительном характере развития дают основания считать, что в основу возрастной периодизации должны быть положены не столько критерии, отражающие уже достигнутые к определенному моменту созревания стационарные особенности

жизнедеятельности организма, сколько критерии взаимодействия организма со средой.

О необходимости такого подхода к поиску физиологических критериев возрастной периодизации высказывался и И. А. Аршавский. Согласно его представлению, в основу возрастной периодизации должны быть положены критерии, отражающие специфику целостного функционирования организма. В качестве такого критерия предлагается выделенная для каждого этапа развития ведущая функция.

В детально изученном И. А. Аршавским и его сотрудниками раннем детском возрасте в соответствии с характером питания и особенностями двигательных актов выделены периоды: неонатальный, во время которого имеет место вскармливание молозивным молоком (8 дней), лактотрофной формы питания (5—6 мес), лактотрофной формы питания с прикормом и появление позы стояния (7—12 мес), ясельного возраста (1—3 года) — освоение локомоторных актов в среде (ходьба, бег). Надо отметить, что И. А. Аршавский придавал особое значение двигательной деятельности как ведущему фактору развития. Подвергнув критике «энергетическое правило поверхности», И. А. Аршавский сформулировал представление об «энергетическом правиле скелетных мышц», в соответствии с которым интенсивность жизнедеятельности организма даже на уровне отдельных тканей и органов определяется особенностями функционирования скелетных мышц, обеспечивающих на каждом этапе развития особенности взаимодействия организма и среды.

Однако надо иметь в виду, что в процессе онтогенеза возрастает активное отношение ребенка к средовым факторам, усиливается роль высших отделов ЦНС в обеспечении адаптивных реакций на внешнесредовые факторы, в том числе и тех реакций, которые реализуются путем двигательной активности.

Поэтому особую роль в возрастной периодизации приобретают критерии, отражающие уровень развития и качественные изменения адаптивных механизмов, связанных с созреванием различных отделов мозга, в том числе и регуляторных структур центральной нервной системы, обуславливающих деятельность всех физиологических систем и поведение ребенка.

Это сближает физиологические и психологические подходы к проблеме возрастной периодизации и создает базу для выработки единой концепции периодизации развития ребенка. Л. С. Выготский в качестве критериев возрастной периодизации рассматривал психические новообразования, характерные для конкретных этапов развития. Продолжая эту линию, А. Н. Леонтьев и Д. Б. Эльконин особое значение в возрастной периодизации придавали «ведущей деятельности», определяющей возникновение психических новообразований. При этом отмечалось, что особенности

психического, так же как и особенности физиологического развития определяются как внутренними (морфофункциональными) факторами, так и внешними условиями индивидуального развития.

Одна из целей возрастной периодизации — установить границы отдельных этапов развития в соответствии с физиологическими нормами реагирования растущего организма на воздействие факторов внешней среды. Характер ответных реакций организма на оказываемые воздействия самым непосредственным образом зависит от возрастных особенностей функционирования различных физиологических систем. По мнению С.М. Громбаха, при разработке проблемы возрастной периодизации необходимо учитывать степень зрелости и функциональной готовности различных органов и систем. Если те или иные физиологические системы на определенном этапе развития и не являются ведущими, они могут обеспечивать оптимальное функционирование ведущей системы в различных средовых условиях, и поэтому уровень зрелости этих физиологических систем не может не сказываться на функциональных возможностях всего организма в целом.

Для суждения о том, какая система является ведущей для данного этапа развития и где лежит рубеж смены одной ведущей системы другой, необходимо оценить уровень зрелости и особенности функционирования различных органов и физиологических систем.

Таким образом, возрастная периодизация должна опираться на три уровня изучения физиологии ребенка:

- 1 — внутрисистемный;
- 2 — межсистемный;
- 3 — целостного организма во взаимодействии со средой.

Вопрос о периодизации развития неразрывно связан с выбором информативных критериев, которые должны быть положены в ее основу. Это возвращает нас к представлению о возрастной норме. Можно полностью согласиться с высказыванием П.Н. Василевского о том, что «оптимальные режимы деятельности функциональных систем организма являются *не среднестатистическими величинами*, а непрерывными динамическими процессами, протекающими во времени в сложной сети коадаптированных регуляторных механизмов». Есть все основания считать, что наиболее информативны критерии возрастных преобразований, которые характеризуют состояние физиологических систем в условиях деятельности, максимально приближающейся к той, с которой объект исследования — ребенок — сталкивается в своей повседневной жизни, т.е. показатели, отражающие реальную приспособляемость к условиям окружающей среды и адекватность реагирования на внешние воздействия.

Основываясь на концепции системной организации адаптивных реакций, можно полагать, что в качестве таких показателей должны быть прежде всего рассмотрены те, которые отражают не столько зрелость отдельных структур, сколько возможность и специфику их взаимодействия со средой. Это относится как к показателям, характеризующим возрастные особенности каждой физиологической системы в отдельности, так и к показателям целостного функционирования организма. Все вышеизложенное требует комплексного подхода к анализу возрастных преобразований на внутрисистемном и межсистемном уровнях.

Не менее важным при разработке проблем возрастной периодизации является вопрос о границах функционально различных этапов. Иными словами, физиологически обоснованная периодизация должна опираться на выделение этапов «актуального» физиологического возраста.

Выделение функционально различных этапов развития возможно только при наличии данных об особенностях адаптивного функционирования различных физиологических систем в пределах каждого года жизни ребенка.

Многолетние исследования, проведенные в Институте возрастной физиологии РАО, позволили установить, что, несмотря на гетерохронию развития органов и систем, внутри периодов, рассматриваемых как единые, выявлены узловые моменты, для которых характерны существенные качественные морфофункциональные преобразования, приводящие к адаптивным перестройкам организма. В дошкольном возрасте это возраст от 3—4 к 5—6 годам, в младшем школьном — от 7—8 к 9—10 годам. В подростковом возрасте качественные изменения деятельности физиологических систем приурочены не к определенному паспортному возрасту, а к степени биологической зрелости (определенным стадиям полового созревания — II—III стадиям).

Сенситивные и критические периоды развития

Адаптивный характер развития организма определяет необходимость учета в возрастной периодизации не только особенностей морфофункционального развития физиологических систем организма, но и их специфической чувствительности к различным внешним воздействиям. Физиологическими и психологическими исследованиями показано, что чувствительность к внешним воздействиям носит избирательный характер на разных этапах онтогенеза. Это легло в основу представления о *сенситивных периодах* как периодах наибольшей чувствительности к воздействию факторов среды.

Выявление и учет сенситивных периодов развития функций организма является непременным условием создания благопри-

ятных адекватных условий эффективного обучения и сохранения здоровья ребенка. Высокая подверженность определенных функций влиянию факторов среды должна быть, с одной стороны, использована для эффективного целенаправленного воздействия на эти функции, способствующего их прогрессивному развитию, а с другой стороны, влияние негативных внешнесредовых факторов должно контролироваться, ибо может привести к нарушению развития организма.

Следует подчеркнуть, что онтогенетическое развитие сочетает периоды эволюционного (постепенного) морфофункционального созревания и периоды революционных, переломных скачков развития, которые могут быть связаны как с внутренними (биологическими), так и с внешними (социальными) факторами развития.

Важным и требующим специального внимания является вопрос о **критических периодах развития**. В эволюционной биологии принято считать критическим периодом этап раннего постнатального развития, характеризующийся интенсивностью морфофункционального созревания, когда из-за отсутствия средовых воздействий функция может не сформироваться. Например, при отсутствии определенных зрительных стимулов в раннем онтогенезе восприятие их в дальнейшем не формируется, то же относится к речевой функции.

В процессе дальнейшего развития критические периоды могут возникать как результат резкой смены социально-средовых факторов и их взаимодействия с процессом внутреннего морфофункционального развития. Таким периодом является возраст начала обучения, когда качественные перестройки морфофункционального созревания базовых мозговых процессов приходится на период резкой смены социальных условий.

Пубертатный период — начало полового созревания — характеризуется резким повышением активности центрального звена эндокринной системы (гипоталамуса), что приводит к резкому же изменению взаимодействия подкорковых структур и коры больших полушарий, результатом чего является значительное снижение эффективности центральных регуляторных механизмов, в том числе определяющих произвольную регуляцию и саморегуляцию. Кроме того, повышаются социальные требования к подросткам, возрастает их самооценка. Это приводит к несоответствию социально-психологических факторов и функциональных возможностей организма, следствием чего могут явиться отклонения в здоровье и поведенческая дезадаптация.

Таким образом, можно полагать, что критические периоды развития обусловлены как интенсивным морфофункциональным преобразованием основных физиологических систем и целостного организма, так и спецификой усложняющегося взаимодействия

внутренних (биологических) и социально-психологических факторов развития.

При рассмотрении вопросов возрастной периодизации необходимо иметь в виду, что границы этапов развития весьма условны. Они зависят от конкретных этнических, климатических, социальных и других факторов. Кроме того, «актуальный» физиологический возраст часто не совпадает с календарным (паспортным) в связи с различиями темпов созревания и условий развития организмов разных людей. Отсюда следует, что при изучении функциональных и адаптивных возможностей детей разного возраста необходимо обращать внимание на оценку индивидуальных показателей зрелости. Только при сочетании возрастного и индивидуального подхода к изучению особенностей функционирования ребенка можно разработать адекватные гигиенические и педагогические меры, обеспечивающие сохранение здоровья и прогрессивное развитие организма и личности ребенка.

Вопросы и задания

1. Расскажите о системном принципе организации адаптивного реагирования.
2. Каковы закономерности онтогенетического развития? Что такое возрастная норма?
3. Что представляет собой возрастная периодизация?
4. Расскажите о сенситивном и критическом периодах развития.

Глава 3. ОБЩИЙ ПЛАН СТРОЕНИЯ ОРГАНИЗМА

Прежде чем приступить к изучению важнейших закономерностей возрастного развития организма, необходимо уяснить, что же представляет собой организм, какие принципы заложены Природой в его генеральную конструкцию и как он взаимодействует с окружающим миром.

Уже почти 300 лет назад было доказано, что все живое состоит из *клеток*. Из нескольких миллиардов мельчайших клеток состоит и организм человека. Эти клетки далеко не одинаковы по своему виду, по своим свойствам и функциям. Сходные между собой клетки объединяются в *ткани*. Видов ткани в организме множество, однако все они относятся всего лишь к 4 типам: эпителиальной, соединительной, мышечной и нервной. *Эпителиальные* ткани образуют кожу и слизистые оболочки, многие внутренние органы — печень, селезенку и др. В эпителиальных тканях клетки расположены тесно друг к другу. *Соединительная* ткань отличается очень большими межклеточными промежутками. Так ус-

троены кости, хрящи, так же устроена кровь — все это разновидности соединительной ткани. *Мышечная и нервная* ткани относятся к возбудимым: они способны воспринимать и проводить импульс возбуждения. При этом для нервной ткани это — главная функция, тогда как мышечные клетки умеют еще сокращаться, значительно изменяясь в размере. Эта механическая работа может быть передана костям или жидкостям, находящимся внутри мышечных мешков.

Ткани в различных сочетаниях образуют *анатомические органы*. Каждый орган состоит из нескольких тканей, причем практически всегда наряду с основной, функциональной тканью, которая определяет специфику органа, там имеются элементы нервной ткани, эпителий и соединительная ткань. Мышечная ткань может быть и не представлена в органе (например, в почках, селезенке и др.).

Анатомические органы складываются в *анато-физиологические системы*, которые объединяются единством главной выполняемой ими функции. Так формируются скелетно-мышечная, нервная, покровная, выделительная, пищеварительная, дыхательная, сердечно-сосудистая, половая, эндокринная системы и кровь. Все эти системы вместе и составляют *организм* человека.

Элементарной единицей живого является клетка. Генетический аппарат сконцентрирован в клеточном *ядре*, т.е. локализован и защищен от неожиданностей воздействия потенциально агрессивной среды. Каждая клетка обособлена от всего остального мира благодаря наличию сложно организованной оболочки — *мембраны*. Эта оболочка состоит из трех слоев химически и функционально различных молекул, которые, действуя согласованно, обеспечивают выполнение множества функций: защитной, контактной, чувствительной, поглощающей и выделяющей. Главная работа клеточной мембраны — организация потоков вещества из окружающей среды внутрь клетки, а из клетки — наружу. Клеточная мембрана — основа всей жизнедеятельности клетки, которая при разрушении мембраны гибнет. Любая клетка нуждается в пище и энергии для своей жизнедеятельности — ведь и функционирование клеточной мембраны также во многом сопряжено с расходом энергии. Для организации энергетического потока через клетку в ней существуют специальные органеллы, отвечающие за выработку энергии — *митохондрии*. Считается, что миллиарды лет назад митохондрии были самостоятельными живыми организмами, научившимися в ходе эволюции использовать некоторые химические процессы для выработки энергии. Затем они вступили в симбиоз с другими одноклеточными организмами, которые благодаря этому сожительству получили надежный источник энергии, а предки митохондрий — надежную защиту и гарантию воспроизводства.

Строительную функцию в клетке выполняют *рибосомы* — фабрики по производству белка на основе матриц, скопированных с генетического материала, хранящегося в ядре. Действуя посредством химических стимулов, ядро управляет всеми сторонами жизни клетки. Передача информации внутри клетки осуществляется благодаря тому, что она заполнена желеобразной массой — *цитоплазмой*, в которой протекают многие биохимические реакции, а вещества, имеющие информационное значение, способны легко проникать в самые дальние уголки внутриклеточного пространства благодаря диффузии.

Многие клетки имеют, кроме того, то или иное приспособление для движения в окружающем пространстве. Это может быть *жгутик* (как у сперматозоида), *ворсинки* (как у кишечного эпителия) или способность к переливанию цитоплазмы в форме *псевдоподий* (как у лимфоцитов).

Таким образом, важнейшими конструктивными элементами клетки являются ее оболочка (мембрана), орган управления (ядро), система энергообеспечения (митохондрия), строительный блок (рибосома), движитель (реснички, псевдоподии, или жгутик) и внутренняя среда (цитоплазма). Некоторые одноклеточные организмы обладают также внушительным кальцинированным скелетом, защищающим их от врагов и случайностей.

Удивительно, но ведь и организм человека, состоящий из многих миллиардов клеток, имеет, по сути, те же важнейшие конструктивные блоки. Человек отделен от окружающей среды своей кожной оболочкой. У него есть движитель (мышцы), скелет, органы управления (головной и спинной мозг и эндокринная система), система энергообеспечения (дыхание и кровообращение), блок первичной обработки пищи (желудочно-кишечный тракт), а также внутренняя среда (кровь, лимфа, межклеточная жидкость). Эта схема не исчерпывает всех конструктивных компонентов организма человека, но позволяет заключить, что любое живое существо построено по принципиально единому плану.

Разумеется, многоклеточный организм обладает целым рядом особенностей и, по-видимому, преимуществ — иначе бы процесс эволюции не был направлен в сторону появления многоклеточных организмов и мир до сих пор был бы населен исключительно теми, кого мы называем «простейшими».

Основное конструктивное различие между одноклеточным и многоклеточным организмом состоит в том, что органы многоклеточного организма построены из миллионов отдельных клеток, которые по принципу подобия и функциональному родству объединяются в ткани, тогда как органеллы одноклеточного представляют собой элементы одной единственной клетки.

В чем же реальное преимущество многоклеточного организма? В возможности разделять функции в пространстве и во времени, а

также в специализации отдельных тканевых и клеточных структур для выполнения строго очерченных функций. По сути дела, эти различия сходны с тем, чем различается средневековое натуральное хозяйство и современное индустриальное производство. Клетка, представляющая самостоятельный организм, вынуждена решать все проблемы, встающие перед ней, за счет имеющихся у нее ресурсов. Многоклеточный организм выделяет для решения каждой из функциональных задач особую популяцию клеток или комплекс таких популяций (ткань, орган, функциональную систему), максимально приспособленных для решения именно этой задачи. Ясно, что эффективность решения задач многоклеточным организмом намного выше. Точнее, у многоклеточного организма гораздо больше шансов приспособиться к широкому набору ситуаций, с которыми ему приходится сталкиваться. Отсюда следует и принципиальное различие между клеткой и многоклеточным организмом в стратегии адаптации: первая на любое средовое влияние реагирует целостно и генерализованно, второй способен адаптироваться к условиям жизни за счет перестройки функций только отдельных из своих составляющих частей — тканей и органов.

Важно подчеркнуть, что ткани многоклеточного организма весьма разнообразны и каждая наилучшим образом приспособлена к выполнению небольшого числа функций, необходимых для жизнедеятельности и адаптации всего организма. При этом клетки каждой из тканей умеют в совершенстве осуществлять только одну-единственную функцию, а все многообразие функциональных возможностей организма обеспечивается разнообразием входящих в его состав клеток. Например, нервные клетки способны только вырабатывать и проводить импульс возбуждения, но не умеют изменять свои размеры или осуществлять уничтожение токсических веществ. Мышечные клетки способны проводить импульс возбуждения так же, как и нервные, но при этом они сами сокращаются, обеспечивая передвижение частей тела в пространстве или изменяя напряжение (тонус) структур, состоящих из этих клеток. Печеночные клетки не способны проводить электрические импульсы или сокращаться — зато их биохимическая мощь обеспечивает обезвреживание огромного числа вредных и ядовитых молекул, попадающих в кровь в процессе жизнедеятельности организма. Клетки костного мозга специально предназначены для производства крови и ничем другим заняты быть не могут. Такое «разделение труда» — характерное свойство любой сложно организованной системы, по этим же правилам функционируют и социальные структуры. Это необходимо учитывать при прогнозировании результатов любых реорганизаций: никакая специализированная подсистема не способна изменить характер своего функционирования, если не изменяется ее собственная структура. Воз-

никновение тканей, обладающих качественными особенностями, в процессе онтогенеза — процесс сравнительно медленный, и происходит он не за счет того, что имеющиеся клетки приобретают новые функции: практически всегда новые функции обеспечиваются новыми поколениями клеточных структур, формирующимися под управлением генетического аппарата и под влиянием требований внешней или внутренней среды.

Онтогенез — поразительное явление, в ходе которого одноклеточный организм (зигота) превращается в многоклеточный, сохраняя целостность и жизнеспособность на всех этапах этого замечательного превращения и постепенно наращивая многообразие и надежность выполняемых функций.

Структурно-функциональный и системный подходы к изучению организма

Научная физиология родилась в один день с анатомией — это произошло в середине XVII в., когда великий английский врач **Уильям Гарвей** получил разрешение церкви и короля и произвел первое после тысячелетнего перерыва вскрытие трупа приговоренного к смерти преступника с целью научного изучения внутреннего строения тела человека. Разумеется, еще древнеегипетские жрецы, бальзамируя тела своих фараонов, прекрасно знали устройство человеческого тела изнутри — но это знание не было научным, оно было эмпирическим, и к тому же — тайным: разглашение любых сведений об этом считалось святотатством и каралось смертью. Великий Аристотель, учитель и наставник Александра Македонского, живший за 3 столетия до нашей эры, очень смутно представлял себе, как устроен организм и как он работает, хотя был энциклопедически образован и знал, кажется, все, что к тому времени накопила европейская цивилизация. Более осведомленными были древнеримские врачи — ученики и последователи Галена (II век н.э.), которые заложили начала описательной анатомии. Огромную славу снискали себе средневековые арабские врачи, но даже величайший из них — Али Абу ибн Сина (в европейской транскрипции — Авиценна, XI в.) — лечил скорее человеческий дух, нежели тело. И вот У. Гарвей при стечении огромного количества народа проводит первое в истории европейской науки исследование устройства тела человека. Но Гарвея более всего интересовало, КАК РАБОТАЕТ организм. С древнейших времен люди знали, что в груди каждого из нас бьется сердце. Врачи во все времена измеряли пульс и по его динамике оценивали состояние здоровья и перспективы борьбы с разнообразными болезнями. До сих пор одним из важнейших приемов диагностики в знаменитой и таинственной тибетской медицине служит

длительное непрерывное наблюдение за пульсом больного: врач сидит у его постели и держит руку на пульсе часами, а потом называет диагноз и предписывает лечение. Всем было хорошо известно: остановилось сердце — прекратилась жизнь. Однако традиционная в тот период Галеновская школа не связывала движение крови по сосудам с деятельностью сердца.

Но перед глазами Гарвея — сердце с трубочками-сосудами, наполненными кровью. И Гарвей понимает: сердце — всего лишь мышечный мешок, выполняющий роль насоса, который качает кровь по всему телу, потому что по всему телу разбегаются сосуды, которые становятся все более многочисленными и все более тонкими по мере удаления от насоса. По таким же сосудам кровь возвращается к сердцу, совершая полный оборот и непрерывно притекая ко всем органам, к каждой клеточке, неся с собой питательные вещества. Еще ничего не известно о роли кислорода, не открыт гемоглобин, никак не умеют врачи различать белки, жиры и углеводы — вообще знания химии и физики еще крайне примитивны. Но уже начали развиваться разнообразные технологии, инженерная мысль человечества изобрела множество приспособлений, облегчающих производство или создающих совершенно новые, небывалые раньше технические возможности. Современникам Гарвея становится ясно: в организме работают определенные *механизмы*, структурную основу которых составляют отдельные органы, причем каждый орган предназначен для выполнения той или иной конкретной функции. Сердце — это насос, качающий кровь по «жилам», точно так же, как те насосы, которые подают воду из равнинных озер в усадьбу на пригорке и питают радующие глаз фонтаны. Легкие — меха, через которые прокачивается воздух, как это делают подмастерья в кузнице, чтобы сильнее раскалить железо и его было легче ковать. Мышцы — канаты, прикрепленные к костям, и их напряжение заставляет эти кости перемещаться, что и обеспечивает движение всего тела, — точно так же, как строители с помощью талей поднимают огромные камни на верхние этажи строящегося храма.

Человеку свойственно всегда сопоставлять новые открытые им явления с уже известными, вошедшими в обиход. Человек всегда строит аналогии, для того чтобы легче понять, объяснить самому себе суть происходящего. Высокий уровень развития механики в эпоху, когда Гарвей проводил свои исследования, неминуемо привел к механической интерпретации многочисленных открытий, сделанных врачами — последователями Гарвея. Так родилась структурно-функциональная физиология с ее лозунгом: один орган — одна функция.

Однако по мере накопления знаний — а это в значительной мере зависело от развития физических и химических наук, поскольку именно они поставляют основные способы для проведения науч-

ных исследований в физиологии, — стало ясно, что многие органы выполняют не одну, а несколько функций. Скажем, легкие — не только обеспечивают обмен газами между кровью и окружающей средой, но также участвуют в регуляции температуры тела. Кожа, выполняя в первую очередь функцию защиты, одновременно является и органом терморегуляции и органом выделения. Мышцы способны не только приводить в действие скелетные рычаги, но и за счет своих сокращений согревать притекающую к ним кровь, поддерживая температурный гомеостаз. Примеры такого рода можно приводить без конца. Полифункциональность органов и физиологических систем стала особенно явственной в конце XIX — начале XX в. Любопытно, что в это же время в технике появилось множество разнообразных «универсальных» машин и инструментов, обладающих широким спектром возможностей — порой, в ущерб простоте и надежности. Это — иллюстрация того факта, что техническая мысль человечества и уровень научного понимания организации процессов в живой природе развиваются в теснейшем взаимодействии между собой.

К середине 30-х годов XX в. стало ясно, что даже концепция полифункциональности органов и систем уже не способна объяснить согласованность функций организма в процессе адаптации к изменяющимся условиям или в динамике возрастного развития. Стало складываться новое понимание смысла процессов, происходящих в живом организме, из которого постепенно сформировался системный подход к исследованию физиологических процессов. У истоков этого направления физиологической мысли стояли выдающиеся российские ученые — А.А.Ухтомский, Н.А.Бернштейн и П.К.Анохин.

Наиболее принципиальное различие структурно-функционального и системного подходов состоит в понимании того, что является физиологической функцией. Для *структурно-функционального подхода* характерно понимание физиологической функции как некоего процесса, осуществляемого определенным (конкретным) набором органов и тканей, меняющим по ходу функционирования свою активность в соответствии с влиянием управляющих структур. В такой интерпретации физиологические механизмы — это те физические и химические процессы, которые лежат в основе физиологической функции и обеспечивают надежность ее выполнения. Физиологический процесс — вот тот объект, который находится в центре внимания структурно-функционального подхода.

Системный подход базируется на представлении о целесообразности, т.е. под функцией в рамках системного подхода понимают процесс достижения некой цели, результата. На различных этапах этого процесса потребность в вовлечении тех или иных структур может весьма существенно меняться, поэтому констелляция (состав и характер взаимодействия элементов) функцио-

нальной системы очень подвижна и соответствует той частной задаче, которая решается в текущий момент. Наличие цели предполагает, что существует некоторая модель состояния системы до и после достижения этой цели, программа действия, а также существует механизм обратной связи, позволяющий системе контролировать свое текущее состояние (промежуточный результат) по сравнению с моделируемым и на этом основании вносить коррективы в программу действия ради достижения конечного результата.

С позиций структурно-функционального подхода окружающая среда выступает как источник стимулов для тех или иных физиологических реакций. Возник стимул — в ответ возникла реакция, которая либо угасает по мере привыкания к стимулу, либо прекращается тогда, когда перестает действовать стимул. В этом смысле структурно-функциональный подход рассматривает организм как закрытую систему, имеющую лишь определенные каналы обмена информацией с окружающей средой.

Системный подход рассматривает организм как открытую систему, целевая функция которой может быть помещена как внутри, так и вне ее. В соответствии с этим взглядом организм реагирует на воздействия внешнего мира как единое целое, перестраивая стратегию и тактику этого реагирования в зависимости от достигаемых результатов каждый раз таким образом, чтобы либо быстрее, либо надежнее достичь модельных целевых результатов. С этой точки зрения реакция на внешний раздражитель угасает тогда, когда сформированная под его воздействием целевая функция оказывается реализованной. Стимул может продолжать действовать либо, напротив, — может прекратить свое действие еще задолго до завершения функциональных перестроек, но раз начавшись, эти перестройки должны пройти весь запрограммированный путь, и реакция закончится только тогда, когда механизмы обратной связи принесут информацию о полной сбалансированности организма со средой на новом уровне функциональной активности. Простой и наглядной иллюстрацией этого положения может служить реакция на любую физическую нагрузку: для ее выполнения активируются мышечные сокращения, что вызывает необходимость соответствующей активации кровообращения и дыхания, и даже когда нагрузка уже завершена — физиологические функции все еще довольно длительное время сохраняют свою повышенную активность, поскольку они обеспечивают выравнивание метаболических состояний и нормализацию гомеостазируемых параметров. Функциональная система, обеспечивающая выполнение физического упражнения, включает в себя не только мышцы и нервные структуры, отдающие мышцам приказ сокращаться, но также и кровеносную систему, дыхательную систему, эндокринные железы и множество других тканей и

органов, вовлеченных в этот процесс, связанный с серьезными изменениями внутренней среды организма.

Структурно-функциональный взгляд на сущность физиологических процессов отражал детерминистский, механистически-материалистический подход, который был характерен для всех естественных наук XIX и начала XX в. Вершиной его развития, вероятно, можно считать теорию условных рефлексов И. П. Павлова, с помощью которых великий русский физиолог пытался познать механизмы деятельности мозга теми же приемами, которыми он с успехом исследовал механизмы желудочной секреции.

Системный подход стоит на стохастических, вероятностных позициях и не отвергает телеологических (целесообразностных) подходов, характерных для развития физики и других естественных наук второй половины XX в. Уже говорилось выше, что физиолога одновременно с математиками именно в рамках этого подхода пришли к формулированию наиболее общих кибернетических закономерностей, которым подчиняется все живое. Столь же важны для понимания физиологических процессов на современном уровне представления о термодинамике открытых систем, развитие которых связано с именами выдающихся физиков XX в. Ильи Пригожина, фон Бергаланфи и др.

Организм как целостная система

Современное понимание сложных самоорганизующихся систем включает представление о том, что в них четко определены каналы и способы передачи информации. В этом смысле живой организм — вполне типичная самоорганизующаяся система.

Информацию о состоянии окружающего мира и о внутренней среде организм получает с помощью датчиков-рецепторов, использующих самые разнообразные физические и химические конструктивные принципы. Так, для человека наиболее важной считается зрительная информация, которую мы получаем с помощью наших оптико-химических датчиков — глаз, которые являются одновременно сложным оптическим прибором с оригинальной и точной системой наведения (адаптации и аккомодации), а также физико-химическим преобразователем энергии фотонов в электрический импульс зрительных нервов. Акустическая информация поступает к нам через причудливый и тонко настроенный слуховой механизм, превращающий механическую энергию колебания воздуха в электрические импульсы слухового нерва. Не менее тонко устроены датчики температуры, тактильные (осязательные), гравитационные (чувство равновесия). Наиболее эволюционно древними считаются обонятельные и вкусовые рецепторы, обладающие огромной избирательной чувствительностью

по отношению к некоторым молекулам. Вся эта информация о состоянии внешней среды и ее изменениях поступает в центральную нервную систему, которая выполняет несколько ролей одновременно — базы данных и знаний, экспертной системы, центрального процессора, а также функции оперативной и долговременной памяти. Туда же стекается и информация от рецепторов, расположенных внутри нашего тела и передающих информацию о состоянии биохимических процессов, о напряжении в работе тех или иных физиологических систем, об актуальных потребностях отдельных групп клеток и тканей организма. В частности, есть датчики давления, содержания углекислого газа и кислорода, кислотности различных биологических жидкостей, напряжения отдельных мышц и многие другие. Информация от всех этих рецепторов также направляется в центр. Сортировка поступающей с периферии информации начинается уже на этапе ее приема — ведь нервные окончания различных рецепторов достигают центральной нервной системы на разных ее уровнях, и соответственно информация попадает в различные отделы ЦНС. Тем не менее вся она может быть использована в процессе принятия решения.

Решение необходимо принимать тогда, когда ситуация по каким-то причинам изменилась и требует соответствующих реакций на системном уровне. Например, человек проголодался — об этом сообщают в «центр» датчики, регистрирующие усиление тощачковой секреции желудочного сока и перистальтики желудочно-кишечного тракта, а также датчики, регистрирующие понижение уровня глюкозы в крови. В ответ рефлекторно усиливается перистальтика желудочно-кишечного тракта и увеличивается секреция желудочного сока. Желудок готов к приему новой порции пищи. При этом оптические датчики позволяют видеть на столе продукты питания, а сопоставление этих образов с хранящимися в базе данных долговременной памяти моделями подсказывает, что есть возможность замечательно утолить голод, получив при этом удовольствие от вида и вкуса потребляемой пищи. В этом случае ЦНС отдает распоряжение исполнительным (эффекторным) органам осуществить необходимые действия, которые в конечном счете приведут к насыщению и устранению исходной причины всех этих событий. Таким образом, цель системы — устранить своими действиями причину возмущения. Достигается эта цель в данном случае сравнительно легко: достаточно протянуть руку к столу, взять лежащие там продукты и съесть их. Однако ясно, что по этой же схеме можно построить сколь угодно сложный сценарий действий.

Голод, любовь, семейные ценности, дружба, кров, самоутверждение, тяга к новому и любовь к красоте — этим коротким перечнем почти исчерпываются побудительные мотивы действия. Порой они обрастают огромным количеством приходящих пси-

хологических и социальных сложностей, тесно переплетаясь между собой, но в самом базальном виде остаются все теми же, заставляя человека совершать действия будь то во времена Апулея, Шекспира или в наше время.

Действовать — а что это означает с точки зрения **системы**? Это означает, что центральный процессор, подчиняясь заложенной в него программе, учитывая все возможные обстоятельства, принимает решение, т.е. строит модель потребного будущего и вырабатывает алгоритм достижения этого будущего. На основании этого алгоритма отдаются приказания отдельным эффекторным (исполнительным) структурам, причем практически всегда в их составе есть мышцы, и в процессе выполнения приказа центра осуществляется движение тела или его частей в пространстве.

А раз осуществляется движение, — значит, выполняется физическая работа в поле земного тяготения, а следовательно, расходуется энергия. Разумеется, работа датчиков и процессора тоже требует энергии, однако энергетический поток многократно возрастает, когда включаются мышечные сокращения. Стало быть, система должна позаботиться об адекватном снабжении энергией, для чего необходимо усилить активность кровообращения, дыхания и некоторых других функций, а также мобилизовать доступные запасы питательных веществ.

Любое повышение метаболической активности влечет за собой нарушение постоянства внутренней среды. Значит, должны активизироваться физиологические механизмы поддержания гомеостаза, которые тоже, между прочим, нуждаются в значительных количествах энергии для своей деятельности.

Будучи системой сложно организованной, организм имеет не один, а несколько контуров регуляции. Нервная система — это, вероятно, главный, но отнюдь не единственный регуляторный механизм. Весьма важную роль выполняют эндокринные органы — железы внутренней секреции, которые химическим путем регулируют деятельность практически всех органов и тканей. В каждой клетке организма есть, кроме того, и своя внутренняя система саморегуляции.

Следует подчеркнуть, что организм представляет собой открытую систему не только с термодинамической точки зрения, т.е. он обменивается с окружающей средой не только энергией, но также веществом и информацией. Вещество мы потребляем главным образом в виде кислорода, пищи и воды, а выделяем в виде углекислоты, испражнений и пота. Что касается информации, то каждый человек является источником зрительной (жесты, позы, движения), акустической (речь, шум от перемещения), тактильной (прикосновения) и химической (многочисленные запахи, которые прекрасно различают наши домашние животные) информации.

Еще одной важнейшей особенностью системы является конечность ее размеров. Организм не размазан по окружающей среде, а имеет определенную форму и компактен. Тело окружено оболочкой, границей, отделяющей внутреннюю среду от внешней. Кожа, выполняющая эту роль в организме человека, — важный элемент его конструкции, поскольку именно в ней сконцентрированы многие датчики, несущие информацию о состоянии внешнего мира, а также и протоки для выведения из организма продуктов обмена и информационных молекул. Наличие четко очерченных границ превращает человека в особь, чувствующую свою отдельность от окружающего мира, свою уникальность и неповторимость. Это психологический эффект, возникающий на основе анатомического и физиологического устройства организма.

Основные структурно-функциональные блоки, из которых состоит организм

Таким образом, к основным структурно-функциональным блокам, из которых состоит организм, можно отнести следующие (каждый блок включает в себя несколько анатомических структур с множеством функций):

датчики (рецепторы), несущие информацию о состоянии внешней и внутренней среды;

центральный процессор и блок управления, включающий нервную и гуморальную регуляцию;

эффекторные органы (в первую очередь скелетно-мышечная система), обеспечивающие выполнение приказов «центра»;

энергетический блок, обеспечивающий эффекторные и все другие структурные компоненты необходимым субстратом и энергией;

гомеостатический блок, поддерживающий параметры внутренней среды на необходимом для жизнедеятельности уровне;

оболочка, выполняющая функции пограничной зоны, разведки, защиты и всех видов обмена с окружающей средой.

Все эти блоки находятся в определенных иерархических взаимоотношениях, между ними происходит постоянный обмен информацией. В итоге вся система реагирует на любые изменения внутренней и внешней среды как единое целое, как один организм.

Вопросы и задания

1. Назовите важнейшие конструктивные блоки организма и их функции.
2. Что означает «обмен веществ»?
3. В каком смысле организм — «открытая система»?
4. Что такое «системный подход» в физиологии?

Раздел II

ОРГАНИЗМ И СРЕДА

Глава 4. РОСТ И РАЗВИТИЕ

Соотношение процессов роста и развития

Определение понятий. Рост и развитие обычно употребляются как понятия тождественные, неразрывно связанные между собой. Между тем биологическая природа этих процессов различна, различны их механизмы и последствия.

Рост — это количественное увеличение биомассы организма за счет увеличения геометрических размеров и массы отдельных его клеток или увеличения числа клеток благодаря их делению.

Развитие — это качественные преобразования в многоклеточном организме, которые протекают за счет *дифференцировочных процессов* (увеличения разнообразия клеточных структур) и приводят к качественным и количественным изменениям функций организма.

Взаимосвязь роста и развития проявляется, в частности, в том, что определенные стадии развития могут наступать только при достижении определенных размеров тела. Так, половое созревание у девочек может наступить только тогда, когда масса тела достигнет определенной величины (для представителей европейской расы это около 48 кг). Активные ростовые процессы также не могут продолжаться на одной и той же стадии развития бесконечно.

Дифференцировочные процессы, или дифференцировка, — это появление специализированных структур нового качества из мало специализированных клеток-предшественниц.

Смысл дифференцировочных процессов. Наименее специализированной можно считать зиготу — зародышевую клетку, образующуюся в результате слияния материнской яйцеклетки с отцовским сперматозоидом. Генетический аппарат зиготы содержит полный двойной набор хромосом, и все дальнейшее развитие представляет собой активацию или репрессию той или иной части генома, который от зародышевой клетки полностью и без изменений передается всем ее потомкам в процессе каждого акта деления. Первые этапы развития зиготы представляют собой простое увеличение числа неотличимых друг от друга клеток — сна-

чала зигота делится на 2, потом каждая из них еще на 2, т.е. образуется 4 клетки, затем — 8, 16, 32 и т.д. Эти эмбриональные клетки называются бластомерами, они похожи, как две капли воды. Однако уже на стадии 32 бластомеров начинают выявляться некоторые особенности отдельных клеток, связанные с их местоположением. По мере увеличения числа бластомеров эти различия все возрастают. Часть из этих клеток, образующих вместе сферу, увеличивается в размере более, чем другие, и, наконец, наступает стадия гастрюляции — впячивания более мелких клеток внутрь сферы с образованием внутренней (целомической) и внешней (гастральной) полостей. Организм приобретает совершенно новый вид удлиненной замкнутой с одного конца трубочки, резко отличающийся от недавней сферической формы. Клетки апикального и каудального концов начинают все сильнее различаться не только внешне, но и по своим свойствам: внутренним, метаболическим. Более того, функции клеток наружного (эктодермального), внутреннего (энтодермального) и образовавшегося промежуточного (мезодермального) слоев гастрюлы, а также роль этих клеток в дальнейшем развитии организма становятся различными. Так, эктодермальный слой клеток дает начало кожным покровам и нервной ткани. Мезодермальный слой служит прародителем всех мышц организма. Клетки энтодермы формируют в дальнейшем паренхиматозные органы (печень, почки, селезенка, железы внутренней секреции) и эпителий желудочно-кишечного тракта. Все эти сложнейшие преобразования, постепенно приводящие к формированию совершенно не схожих между собой клеточных структур и разных по форме и функции тканей, являются проявлением дифференцировочных процессов. Именно в этом и заключается развитие — от единственной зародышевой клетки до организма, насчитывающего миллионы клеток различной специализации.

Сроки развития и созревания детского организма. Долгое время существовало убеждение, что дифференцировочные процессы в основном заканчиваются во внутриутробном периоде, а дальнейшее развитие связано преимущественно с особенностями роста отдельных органов. В последние десятилетия убедительно показано, что это не так: многие ткани организма продолжают развиваться, в том числе и путем дифференцировочных процессов, вплоть до завершения полового созревания. Особенно длителен период созревания возбудимых тканей — нервной и мышечной.

Количественные и качественные изменения в деятельности физиологических систем. Ростовые процессы неминуемо приводят к изменениям объемных характеристик в деятельности практически всех физиологических систем организма. Так, совершенно очевидно, что, для того чтобы сохранить потребный уровень снабжения тканей растущего организма кислородом и питательными

веществами, при двукратном увеличении массы тела необходимо примерно такое же увеличение массы циркулирующей крови, размеров сердца, кроветворных органов и т.д. Те же пропорции складываются и в других функциональных системах. Но все это справедливо лишь в том случае, если принципы организации физиологического процесса не меняются. Если же допустить, что ткани претерпевают такие качественные изменения, которые позволяют им полнее экстрагировать кислород и питательные вещества из крови (что и происходит в действительности в процессе онтогенеза), то потребность в кровообращении в расчете на единицу массы тела с возрастом будет снижаться.

Все физиологические функции так или иначе связаны с размерами тела. Но при этом часть из них меняется в онтогенезе пропорционально изменениям массы тела, тогда как другие меняются пропорционально изменениям площади поверхности тела. Если же в ходе развития та или иная функция демонстрирует непропорциональное массе или площади поверхности изменение, то это свидетельствует о качественном преобразовании механизмов реализации данной функции. Ростовые процессы ведут, как правило, к количественным, пропорциональным изменениям. Дифференцировочные процессы могут приводить к появлению качественных, непропорциональных изменений в деятельности физиологических систем организма. На этом простом соображении основано широкое использование в возрастной физиологии относительных показателей, т. е. выражение активности той или иной физиологической функции по отношению к массе тела или площади его поверхности. Этот прием позволяет наглядно увидеть и различить этапы количественного нарастания возможностей физиологических систем и этапы их качественных преобразований.

Энергетические затраты в процессе роста и развития. Широко распространено мнение о том, что процессы роста требуют больших затрат энергии. С этим некоторые исследователи связывали повышенный уровень метаболизма в тканях детского организма. Однако точные измерения, проведенные в 1970—1980-е годы, показали, что даже в период самого интенсивного роста на это расходуется не более 4—5 % суточного потребления энергии. Таким образом, видимое глазу изменение размеров и пропорций тела на самом деле представляет собой достаточно легко (с точки зрения энергетики организма) реализуемый процесс. Совершенно иначе обстоит дело с дифференцировочными процессами, определяющими динамику качественного развития организма. Количество синтезов, которые протекают в процессе дифференцировок, возможно, не столь велико, но их энергетическая «цена» намного выше. Это связано с тем, что в процессе ростовых синтезов используются уже готовые, отработанные пути метаболизма,

тогда как дифференцировочные процессы требуют организации новых метаболических путей и широкого спектра ферментных систем, которые бывают необходимы только на узко очерченных стадиях процесса. Экспериментально показано, что в периоды, когда замедляется рост организма, а значит, активизируются дифференцировочные процессы, существенно повышается интенсивность основного обмена, т. е. тех энергозатрат, которые не связаны с реализацией каких-либо конкретных функций.

Понятие о «скачке роста». В тех случаях, когда во множестве различных тканей организма одновременно наблюдаются ростовые процессы, отмечаются феномены так называемых «скачков роста». В первую очередь это проявляется в резком увеличении продольных размеров тела за счет увеличения длины туловища и конечностей. В постнатальном онтогенезе человека такие «скачки» наиболее ярко выражены в первый год жизни (1,5-кратное увеличение длины и 3—4-кратное увеличение массы тела за год, рост преимущественно за счет удлинения туловища), в возрасте 5—6 лет (так называемый «полуростовой скачок», в результате которого ребенок достигает примерно 70 % длины тела взрослого, рост преимущественно за счет удлинения конечностей), а также в 13—15 лет (пубертатный скачок роста как за счет удлинения туловища, так и за счет удлинения конечностей).

Впервые о скачке роста стало известно из исследований графа Ф. де Монбейяра, который в 1759—1777 гг. наблюдал за развитием своего сына, взвешивая его каждые полгода. Эти результаты были впервые опубликованы Бюффоном в приложении к его «Естественной истории». На рис. 1 хорошо видно резкое увеличение

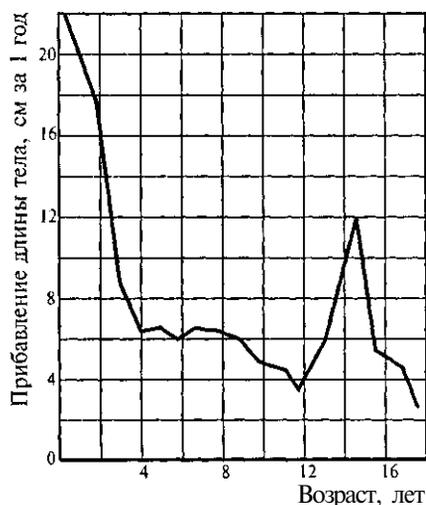


Рис. 1. Изменение темпов роста

скорости роста в период от 12 до 16 лет (пубертатный скачок), а также видно замедление снижения скорости ростовых процессов в период от 6 до 8 лет (полуростовой скачок). В дальнейшем многочисленные исследователи подтвердили реальность этих двух узловых моментов в развитии, когда скорость роста увеличивается в противовес возрастной тенденции к ее снижению.

В результате каждого скачка роста существенно меняются пропорции тела, все более приближаясь к взрослым. Кроме того, количественные изменения, выражающиеся в увели-

чении длины тела и изменении его пропорций, обязательно сопровождаются качественными изменениями функционирования важнейших физиологических систем, которые должны «настроиться» на работу в условиях новой морфологической ситуации. Целый ряд качественных возрастных изменений функционирования органов и систем является неизбежным следствием увеличения размеров и изменений пропорций тела в онтогенезе: сложившаяся на предыдущем этапе онтогенеза организация функции не способна обеспечить устойчивый процесс в новых условиях, поэтому требуется ее более или менее существенная перестройка.

Чередование периодов роста и дифференцировки служит естественным биологическим маркером этапов возрастного развития, на каждом из которых организм имеет специфические особенности, никогда не встречающиеся в таком же сочетании на любом из других этапов. Отсюда вытекает необходимость всегда соотносить анализ состояния организма (как по морфологическим признакам, так и по функциональным) с конкретным этапом возрастного развития. Иными словами, этапы онтогенеза — не абстракция, придуманная учеными для облегчения анализа, а совершенно реальная последовательность событий, неизменно повторяющаяся в процессе развития каждого индивидуума.

Темпы полового развития и биологически обусловленная продолжительность жизни

Существует множество научных и псевдонаучных учений о продлении сроков жизни человека. Они исходят из того, что некоторые представители вида *Homo sapiens* доживают в определенных условиях до 130—140 лет, сохраняя ясность мыслей и относительную трудоспособность. По мнению ряда энтузиастов, человек, если бы не был подвержен каким-то заболеваниям и порокам, мог бы жить до 200 и более лет. Надо признать, что, как ни привлекательны эти концепции, они не основаны на современном научном знании.

Для млекопитающих, к которым относится и человек, характерна такая закономерность: средняя продолжительность жизни примерно в 5 раз больше, чем возраст наступления половой зрелости. По-видимому, это соотношение установилось в процессе естественного отбора как наиболее адекватное задачам популяционной репродукции. Для человека характерна эта же закономерность. При этом человек живет значительно (в 3—4 раза) дольше, чем животные, имеющие примерно такой же размер тела, — свинья, овца, коза, шимпанзе и др. Между тем биологически определенный срок жизни самым тесным образом связан с раз-

мерами животного: более мелкие, имеющие более интенсивный обмен веществ млекопитающие, живут значительно меньше (но при этом проживают примерно такое же «физиологическое время»). Исключения из этого правила составляют некоторые виды, обладающие относительно более крупным мозгом. Так, белка, имеющая те же размеры, что и крыса, живет в несколько раз дольше, при этом ее мозг в 1,5–2 раза крупнее, чем у крысы. Относительно более долгую жизнь имеют также некоторые кошки, ведущие древесный образ жизни.

Мозг человека — выдающийся по своим размерам в животном царстве, намного превышающий по относительной массе и сложности организации мозг любого другого млекопитающего. Возможно, именно в особенностях строения и функции мозга кроется удивительное долголетие человека. Но при этом необходимо отметить, что скорость развития и морфофункционального созревания у человека намного ниже, чем у млекопитающих такого же размера. Копытные животные, хищники и приматы, сходные размером с человеком, достигают половой зрелости через 2–4 года после рождения, тогда как человеку на это требуется 13–17 лет. Отсюда следует, что естественный предел продолжительности жизни человека составляет примерно $16 \times 5 = 80$ лет. Всякий, кто живет дольше этого срока, с полным основанием может считаться долгожителем.

По-видимому, темп развития и темп старения тесно связаны между собой. Замедленный темп развития позволяет человеку набрать огромный личный и социальный опыт, заполнить мозг колоссальным объемом информации и выработать социально адекватные формы взаимодействия представителей разных поколений. Даже в сложноорганизованных группах животных (например, приматов) нет ничего подобного. У человека сильно растянуто детство и пропорционально удлинена наиболее активная фаза жизни. Биологическая плата за это — долгое старение, но процесс морфофункционального увядания в какой-то мере компенсирован той социальной ролью, которую мудрость старости играет в развитом обществе.

Следует подчеркнуть, что все приведенные выше рассуждения имеют смысл только на популяционном уровне и никак не относятся к индивидуальным особенностям темпов биологического созревания. Специальные исследования не выявили значимых корреляций между скоростью полового созревания и временем жизни у отдельных людей. Жители южных стран обычно достигают половой зрелости на 1–2 года раньше, чем северяне, но это не значит, что они живут на 5–10 лет меньше. В индивидуальном плане на продолжительность жизни влияет такое количество разнообразных факторов, что подобные прямые толкования общепризнанных закономерностей недопустимы.

Рост и развитие костного скелета

Костный скелет и прикрепленные к нему мышцы составляют *опорно-двигательный аппарат* человека. Как и у всех позвоночных, скелет человека представляет собой структурную основу его тела, определяет его форму, размер и пропорции. Скелет защищает от механических воздействий головной и спинной мозг, а также формирует полости, в которых под надежной защитой находятся внутренние органы. Перемещения звеньев тела осуществляются благодаря тому, что отдельные кости соединены одна с другой при помощи подвижных сочленений, а мышцы, прикрепленные к разным костям, способны перемещать одну кость относительно другой. Все движения человека — это перемещение в пространстве звеньев его тела.

Особенности опорно-двигательного аппарата человека во многом связаны с размерами его тела, а также с прямохождением. Тем не менее, как и у всех млекопитающих, тело человека состоит из головы, туловища и конечностей, причем такое строение приобретает эмбрион уже на 3-м месяце внутриутробной жизни.

Кость. Скелет состоит из костей, которых у взрослого человека более 200. Кость — это самый сложный орган, имеющий, как и все другие органы, клеточное строение. Внутри кости проходят многочисленные полости и каналы, кость обильно снабжается кровью и лимфой, к ней подходят многочисленные нервные окончания, которые воспринимают информацию о состоянии костной ткани и передают управляющие импульсы из нервных центров. Внутри многих костей имеется полость, где расположен костный мозг — важнейший орган кроветворения, в котором образуются все типы клеток крови. Снаружи кость покрыта надкостницей — специальной защитной, очень чувствительной к механическому воздействию оболочкой. Клетки надкостницы растут и размножаются, обеспечивая утолщение кости по мере роста.

Кость — очень прочное и твердое вещество: в 30 раз тверже кирпича, в 2,5 раза тверже гранита; прочность кости в 9 раз выше, чем у свинца, и почти столь же велика, как у чугуна. Бедренная кость человека в вертикальном положении выдерживает давление до 1,5 т, а большеберцовая — до 1,8 т.

Механическая прочность кости зависит от содержания в ней минеральных веществ, особенно солей кальция. В составе кости около 10 % воды, 30 % белка и других органических веществ, а остальное (60%) — минеральные соли. Важнейшим органическим составляющим костной ткани является белок коллаген, образующий эластичные и вязкие волокна. Именно этот белок придает костям упругость. Хрящевая ткань, выстилающая суставы и находящаяся



Рис. 2. Последовательные стадии окостенения

действием внешних причин — тяжелой физической работы, неправильного положения тела и т.п.

Процесс насыщения кости минеральными веществами называется *минерализацией*. По мере роста и развития человека минерализация его костей увеличивается, достигая оптимальных значений к концу полового созревания. Минерализация кости приводит к тому, что хрящевые участки постепенно превращаются в костные, поэтому этот процесс называется также *окостенением* (рис. 2). С возрастом кости становятся менее эластичными, но более хрупкими. К старости, когда минеральный обмен нарушается, из кости вымывается значительное количество кальция, в результате кости утрачивают прочность, сохраняя при этом свою хрупкость. Вот почему у стариков так часты переломы костей.

В течение первого года жизни окостенение скелета происходит очень активно во множестве точек. Этому способствует специфическое строение костной ткани ребенка, в частности относительно большее (в 5—10 раз в расчете на единицу площади поперечного сечения) количество каналов, по которым внутри кости проходят мелкие сосуды. Благодаря этому снабжение костей кровью у детей гораздо более интенсивное, чем у взрослых.

На развитии костного скелета может отрицательно сказываться нарушение баланса витамина D, который участвует в метаболизме кальция в костной ткани. Недостаток витамина ведет к появлению рахита, который проявляется в замедлении процессов окостенения и, как следствие, — в нарушении пропорций в развитии сочленяемых костей. Признаки рахита особенно часто видны по измененной форме черепа и грудной клетки. Для профилактики рахита принято давать детям первого года жизни рыбий жир или синтетический витамин D. В то же время избыток этого витамина также нежелателен, так как он может приводить к уско-

на периферии костей молодого организма, представляет собой гораздо менее минерализованную структуру, содержащую много коллагена и мало солей кальция.

У детей в костной ткани содержание минеральных веществ значительно ниже, поэтому их скелет более гибкий и эластичный, способен легко деформироваться под воз-

рению процессов окостенения и торможению ростовых процессов в костной ткани.

Рост и развитие костей заканчиваются к 20—24 годам у мужчин и на 2—3 года раньше — у женщин. К этому времени завершается окостенение всех зон роста, т.е. замена в них хрящевой ткани на костную. Рост кости в толщину может в определенных условиях продолжаться и позднее. На этом, в частности, основано сращивание костей после перелома.

Череп. Вместительным головным мозгом, а также каркасом для мышц, обеспечивающих мимику и первичную обработку пищи в ротовой полости, являются кости черепа (рис. 3).

Череп новорожденного состоит из нескольких отдельных костей, соединенных мягкой соединительной тканью. В тех местах, где сходятся 3—4 кости, эта перепонка особенно велика, такие зоны называют *родничками*. Благодаря родничкам кости черепа сохраняют подвижность, что имеет важнейшее значение при родах, так как голова плода в процессе родов должна пройти через очень узкие родовые пути женщины. После рождения роднички зарастают в основном к 2—3 месяцам, но самый большой из них — лобный — только к возрасту 1,5 лет.

Мозговая часть черепа детей значительно более развита, чем лицевая. Интенсивное развитие лицевой части происходит в период полуростового скачка, и особенно — в подростковом периоде под воздействием гормона роста. У новорожденного объем мозгового отдела черепа в 6 раз больше объема лицевого, а у взрослого — в 2—2,5 раза.

Голова ребенка относительно очень велика. С возрастом существенно изменяется соотношение между высотой головы и ростом. Это соотношение используется как один из морфологических критериев биологического возраста ребенка.

Позвоночник. Позвоночник новорожденного, как и взрослого, состоит из 32—33 позвонков (7 шейных, 12 грудных, 5 поясничных, 5 тазовых и 3—4-х хвостовых), причем их рост и окостенение заканчиваются только с половым созреванием. Главной отличительной особенностью позвоночника ребенка первого года жизни является практическое отсутствие изгибов. Они формируются постепенно (рис. 4), по мере роста туловища и реализации антигравитационных реакций (сидение, стояние, прямохождение), и призваны обеспечить биомеханически наиболее эффективные режимы

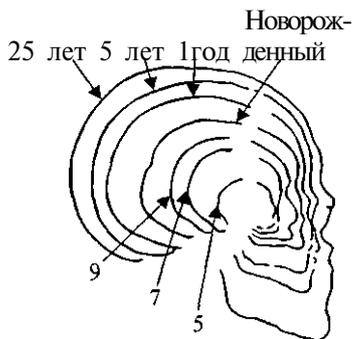


Рис. 3. Возрастные изменения формы и размеров черепа. Цифры 5, 7, 9 означают месяцы внутриутробного развития

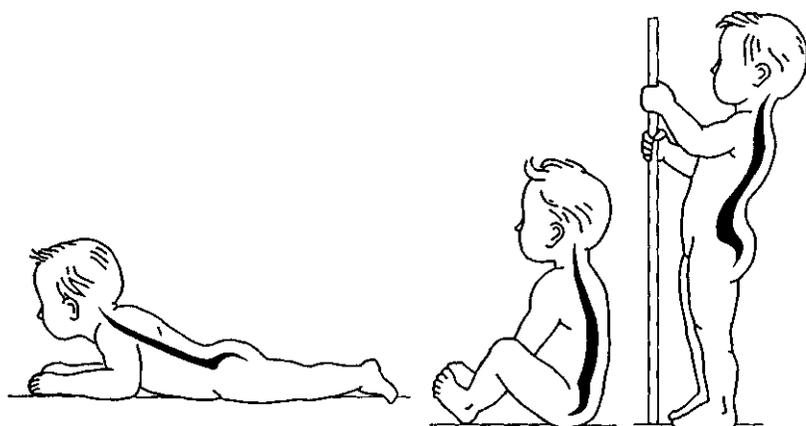


Рис. 4. Формирование изгибов позвоночника в онтогенезе ребенка

как при статической, так и при динамической нагрузке. Первой образуется шейная кривизна (выпуклостью вперед), когда у ребенка появляется возможность удерживать в вертикальном положении голову. К концу первого года жизни формируется поясничная кривизна (также выпуклостью вперед), необходимая для реализации позы стояния и акта прямохождения. Грудная кривизна (выпуклостью назад) формируется позже. Позвоночник ребенка этого возраста еще очень эластичен, и в лежачем положении его изгибы сглаживаются. Недостаток двигательной активности в этом возрасте отрицательно сказывается на развитии нормальной кривизны позвоночного столба.

Следует подчеркнуть, что формирование нормальной кривизны позвоночника — важнейший этап в развитии не только костного скелета, но и всех внутренних органов, так как от формы и изгибов позвоночника зависит взаимное расположение органов в грудной клетке и брюшной полости. Кроме того, позвоночник —местилище спинного мозга, из которого проводящие нервные пути отходят ко всем полостным органам и тканям, а также к каждой скелетной мышце. Нарушения в развитии позвоночника могут иметь самые тяжелые последствия для здоровья. Именно поэтому так важна профилактика, которую следует начинать уже на первом году жизни ребенка, выполняя с ним осторожные и умеренные физические упражнения и массируя его при соблюдении гигиенических норм и правил обращения с ребенком. Наиболее часто развивается сколиоз — боковые искривления позвоночника в шейном и грудном отделах (рис. 5), причем нередко они возникают в результате неправильного ухода за ребенком. Так, очень важно следить, чтобы ребенок спал на достаточно твердой поверхности с невысокой подушкой, в удобной и естественной позе, а также периодически ее

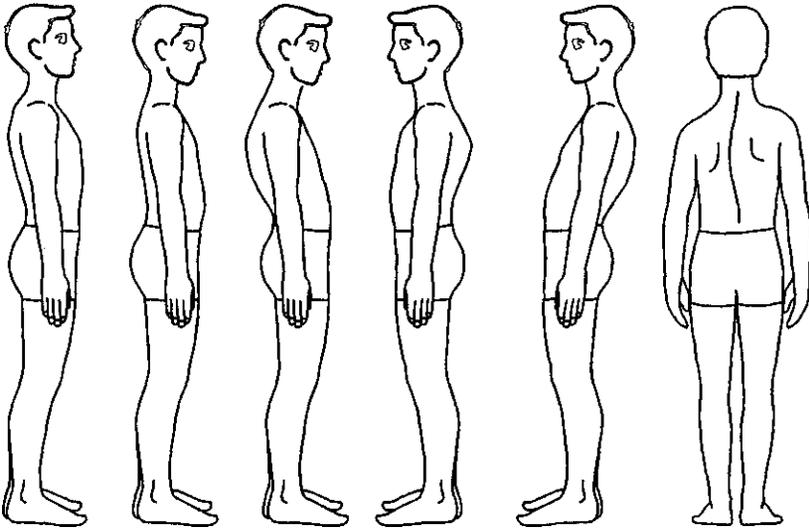


Рис. 5. Осанка:

нормальная; *б* — выпрямленная; *в* — кифотическая; *г* — лордотическая;
д — сутуловатая; *е* — сколиотическая

менял — это одно из средств профилактики сколиозов шейного отдела. Сколиозы грудного отдела, а также кифоз (передне-заднее искривление грудного отдела) и лордоз (чрезмерный изгиб в поясничной области вперед) в раннем возрасте развиваются редко.

Рост позвоночника наиболее интенсивно происходит в первые 2 года жизни. При этом сначала все отделы позвоночника растут относительно равномерно, а начиная с 1,5 лет рост верхних отделов — шейного и верхнегрудного — замедляется, и увеличение длины происходит в большей мере за счет поясничного отдела. Таким образом, в динамике роста позвоночного столба также отмечается выраженный градиент темпов развития — «от головы к хвосту». Следующий этап ускорения роста позвоночника — период «полуростового» скачка. Последнее вытягивание позвоночника происходит на начальных этапах полового созревания, после чего рост позвонков замедляется.

Окостенение позвонков продолжается в течение всего детского возраста, причем до 14 лет окостеневают только их средние части. Завершается окостенение позвонков только к 21—23 годам. Изгибы позвоночника, начавшие формироваться на 1-м году жизни, полностью формируются в возрасте 12—14 лет, т.е. на начальных стадиях полового созревания.

Грудная клетка. Грудной отдел позвоночника, 12 пар ребер и грудина составляют грудную клетку, в которой под этой надеж-

ной защитой размещены сердце, легкие и другие жизненно важные органы. Движения ребер под воздействием межреберных мышц обеспечивают акт дыхания. Вот почему форма и размер грудной клетки имеют важнейшее значение для осуществления физиологических процессов.

У новорожденного грудная клетка имеет коническую форму, причем ее размер от грудины до позвоночника больше, чем поперечный. У взрослого человека — наоборот.

По мере роста ребенка форма грудной клетки меняется. Уменьшается угол, под которым ребра соединены с позвоночником. Уже к концу 1-го года жизни это обеспечивает значительное увеличение амплитуды дыхательных движений грудной клетки, что делает дыхание более глубоким и эффективным и позволяет снизить его темп. Коническая форма грудной клетки после 3—4 лет сменяется на цилиндрическую, а к 6 годам пропорции грудной клетки становятся похожими на пропорции взрослого человека. Это в еще большей степени позволяет увеличить эффективность дыхательных движений, особенно при физической нагрузке. К 12—13 годам грудная клетка приобретает ту же форму, что у взрослого.

Форма грудной клетки после 12—13 лет тесно связана с телосложением. Представители долихоморфных (вытянутых в длину) типов имеют удлиненную, цилиндрическую грудную клетку с острым эпигастральным углом (угол между двумя нижними ребрами в точке их сращения с грудиной). У представителей брахиморфных (с преобладанием ширины) типов грудная клетка становится бочкообразной, короткой, с тупым эпигастральным углом. У промежуточного мезоморфного типа эпигастральный угол бывает прямым.

Скелет верхних конечностей. Пояс верхних конечностей состоит из двух лопаток и двух ключиц. Они образуют жесткий каркас, формирующий верхнюю границу туловища. К лопаткам подвижно прикреплены кости свободных конечностей (правой и левой), которые включают плечевую кость, предплечье (лучевая и локтевая кости) и кисть (мелкие кости запястья, 5 длинных пястных костей и кости пальцев).

Окостенение свободных конечностей продолжается до 18—20 лет, причем ранее всего окостеневают ключицы (практически еще внутриутробно), затем — лопатки и последними — кости кисти. Именно эти мелкие кости служат объектом рентгенографического исследования при определении «костного возраста». На рентгенограмме эти мелкие косточки у новорожденного только намечаются и становятся ясно видимыми только к 7 годам. К 10—12 годам выявляются половые различия, которые заключаются в более быстром окостенении у девочек по сравнению с мальчиками (разница составляет примерно 1 год). Окостенение фаланг пальцев завершается в основном к 11 годам, а запястья — в 12 лет, хотя отдельные зоны продолжают оставаться не окостеневшими до 20—24 лет.

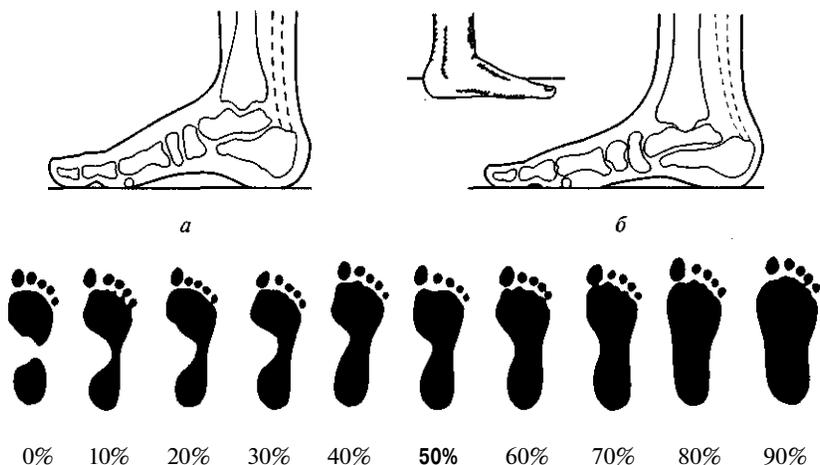


Рис. 6. Форма стопы:

а — нормальная; *б* — плоская; *в* — различные степени плоскостопия

Скелет нижних конечностей. Пояс нижних конечностей включает таз и свободные нижние конечности. Таз состоит из крестца (нижний отдел позвоночника) и неподвижно соединенных с ним двух тазовых костей. У детей каждая тазовая кость состоит из трех самостоятельных костей: подвздошной, лобковой и седалищной. Их сращение и окостенение начинается с 5–6 лет, а завершается к 17–18 годам. Крестец у детей также еще состоит из несросшихся позвонков, которые соединяются в единую кость в подростковом возрасте. В этом возрасте важно следить за походкой, качеством и удобством обуви, а также остерегаться резких ударов, способных причинить вред позвоночнику. Неправильное сращение или деформация костей таза может оказать неблагоприятное влияние на здоровье в дальнейшем. В частности, для девочек очень важны форма и размер выхода из малого таза, которая влияет на прохождение плода при родах. Половые различия в строении таза начинают проявляться в возрасте 9 лет.

К тазовым костям прикреплены бедренные кости свободных нижних конечностей. Ниже расположены пары костей голени — большеберцовые и малоберцовые, а затем кости стопы: предплюсна, плюсна, фаланги пальцев. Стопа образует свод, опирающийся на пяточную кость. Свод стопы — исключительная привилегия человека, связанная с прямохождением. Свод действует как рессора, смягчая удары и толчки при ходьбе и беге, а также распределяя тяжесть при переноске грузов. Сводчатость стопы формируется только после 1 года, когда ребенок начинает ходить. Уплотнение свода стопы — *плоскостопие* (рис. 6) — одно из частых нарушений осанки, с которым необходимо бороться.

Порядок и сроки окостенения свободных нижних конечностей в целом повторяют закономерности, характерные для верхних.

Физическое развитие

Определение понятия. Под *физическим развитием* понимают размеры и форму тела, соответствие их возрастной норме. Количественная оценка физического развития может быть выражена как в абсолютных (килограммы, сантиметры), так и в относительных (доля в процентах от возрастной нормы) величинах. С физическим развитием тесно связаны *моторное* (двигательное) *развитие* и *половое созревание*. Выраженные отклонения от нормативов физического развития, как правило, означают нарушения процессов роста и созревания организма. Часто они бывают связаны с теми или иными метаболическими нарушениями, а также с патологией эндокринной и центральной нервной систем. При этом существенное отставание в физическом развитии иногда даже менее опасно, чем значительное опережение, которое почти всегда свидетельствует о наличии гормональных нарушений.

Размеры и общий план строения тела. В возрастной, сравнительной и экологической физиологии большое внимание уделяется закономерностям, связывающим размеры тела и те или иные функциональные свойства организма. Выдающийся современный исследователь К. Шмидт-Ниельсен выпустил даже специальную монографию под названием «Размеры животных: почему они так важны». Одна из центральных мыслей автора состоит в том, что изменение размеров неминуемо ведет к изменению конструкции, так как принципы, пригодные для объекта малого размера, не могут быть приложимы к аналогичному по функции объекту большего размера. Это было им замечательно проиллюстрировано целым рядом примеров как из морфологии и физиологии животных, так и из техники. Действительно, простое увеличение размеров без изменения пропорций выглядит обычно нелепо и очевидно нецелесообразно. Трудно представить себе взрослого человека, имеющего пропорции новорожденного. Такой человек был бы беспомощным инвалидом — с огромными туловищем и головой и коротенькими руками и ногами, совершенно неспособными по самой своей конструкции производить что-либо полезное.

Связь физиологических функций с размерами и формой тела. Физическое развитие, характеризуя геометрические размеры тела и его пропорции, непосредственно влияет на функционирование всех без исключения органов и систем организма (рис. 7). Это связано с тем, что масса и площадь поверхности тела во многом определяют интенсивность обменных процессов в организме. Масса тела при этом выступает как мера продукции энергии (тепла), а

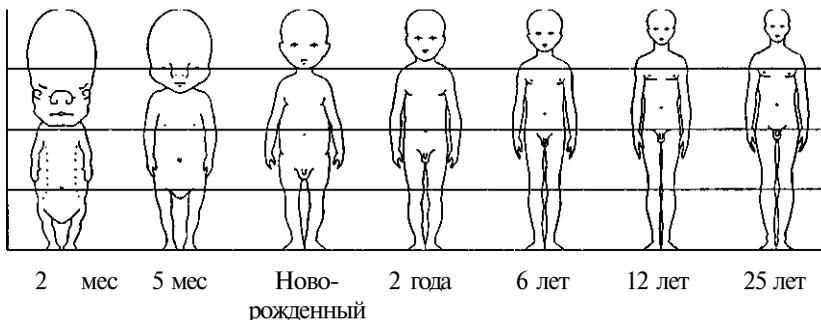


Рис. 7. Пропорции тела человека в зависимости от возраста

его поверхность — как мера теплоотдачи. Иными словами, размеры и пропорции тела во многом определяют соотношение механизмов *теплопродукции* и *теплоотдачи*. Маленький ребенок ближе по своим пропорциям к шарикю, т.е. к идеальной форме, имеющей минимальное соотношение поверхности и объема (массы). Такая форма наиболее экономична для поддержания энергетического и теплового баланса организма на минимальном уровне, т.е. теплоотдача при такой форме будет наименьшая, что снижает нагрузку на механизмы теплопродукции. В то же время чем больше по размеру шаровидное тело, тем меньше (при неизменных пропорциях) его относительная поверхность и, следовательно, теплоотдача. Это обусловлено простой математической зависимостью, согласно которой объем шарообразного тела пропорционален его радиусу в 3-й степени, а поверхность — радиусу во 2-й степени. Увеличение радиуса (т.е. размеров) тела приводит к существенно более быстрому возрастанию объема, чем увеличение поверхности. То есть относительная поверхность (площадь поверхности, приходящаяся на единицу объема) у маленького тела существенно выше, чем у большого. Поэтому для маленького организма проблемой является дополнительная продукция тепла при охлаждении, а для большого — дополнительный отвод тепла при перегреве.

Размеры тела и физические факторы. Человек на протяжении всей своей постнатальной жизни постоянно взаимодействует с двумя основными физическими факторами, к которым организму приходится непрерывно приспосабливаться, — *температурой окружающей среды* и *силой тяжести {гравитацией}*. Реакция организма на оба эти фактора самым непосредственным образом связана с массой, геометрическими размерами и пропорциями тела, т.е. с физическим развитием. Другие физические факторы, также определяющие особенности экологии человека, воздействуют на организм независимо от его формы и размеров (например, уровень инсоляции, влажность, газовый состав окружающего воздуха и т.п.).

Температура окружающей среды — постоянно действующий фактор переменного значения. В связи с тем, что клетки организма нуждаются для своего нормального функционирования в постоянной температуре около 37°C, изменения внешней температуры обуславливают необходимость приспособления организма к этому переменному фактору. Размеры и пропорции тела в этом случае очень важны, так как интенсивность производства тепла в организме пропорциональна его массе, а скорость теплоотдачи пропорциональна площади поверхности тела. Любое изменение размеров и пропорций, в том числе происходящее в результате естественных процессов роста и развития, непосредственно сказывается на балансе продукции и отвода тепла и неукоснительно ведет к перестройке деятельности всех вегетативных систем организма, а следовательно — и систем управления (центральной нервной системы и эндокринной системы). Повышенная температура среды требует — во избежание перегрева — активации функций, способствующих теплоотдаче (перераспределение кровотока в сторону усиления кожного кровообращения, активация легочной вентиляции и потоотделения). Пониженная температура, напротив, требует сохранения тепла в организме (за счет обратного перераспределения кровотока, снижения активности внешнего дыхания и потоотделения) и усиления его продукции за счет повышения интенсивности метаболизма (особенно в таких органах, как печень, бурая жировая ткань и скелетные мышцы).

Гравитация (сила тяжести) — другой постоянно действующий фактор, влияние которого сказывается непрерывно и тесно связано с массой и формой тела. Изменение пропорций тела неминуемо ведет к изменению биомеханических свойств и, как следствие, экономичности разнообразных движений, т.е. влияет на энергетический баланс организма.

Таким образом, геометрические размеры, масса и пропорции тела очень существенно влияют на протекание всех важнейших функций организма, воздействуя на их экономичность и ставя пределы адаптивным возможностям.

Влияние размеров тела на метаболизм и вегетативные функции. Размеры тела во многом определяют интенсивность обменных процессов (рис. 8), активность многих физиологических функций (например, частоту сердцебиений и дыхания), а также толерантность к внешней температуре и другим факторам среды. Зависимость показателей функциональной активности от размеров тела в ряду животных «от мыши до слона» широко исследована, и взрослый человек хорошо укладывается в эти общебиологические закономерности. Обычно измеряемые показатели интенсивности обменных процессов (интенсивность потребления кислорода либо его калорического эквивалент) и связанных с ними вегетативных функций (частота пульса, относительная объемная скорость кро-

вотока, частота дыхания и т.п.) снижаются с увеличением размеров тела пропорционально массе тела в степени $2/3$. Сходные закономерности могут быть выявлены и в ходе онтогенетического роста, однако здесь имеются факторы, существенно искажающие плавный ход соответствующих кривых. Эти факторы связаны с различной организацией функций организма на разных этапах онтогенеза, о чем говорилось выше. Тем не менее внутри одной возрастной группы размерные закономерности, хотя и не столь явно выраженные, имеют место. Это еще одна из причин, по которой контроль за уровнем физического развития детей и подростков имеет важное значение при оценке их общего морфофункционального состояния.

Масса тела, скорость обменных процессов и «физиологическое время». Снижение интенсивности обменных процессов с возрастом и увеличением размеров тела

означает, что в единицу времени происходит меньшее количество биохимических реакций, составляющих основу метаболизма. В связи с этим возникло представление о «физиологическом времени», т.е. о том, что время для более маленького организма течет быстрее. Было показано, что «физиологическое время» пропорционально массе тела в степени $0,25$. Например, у годовалого ребенка массой 12 кг время течет в 1,5 раза быстрее, чем у взрослого массой 70 кг, а у первоклассника массой 30 кг — на 25 % быстрее. Совершенно аналогичные результаты могут быть получены, если подсчитать соотношение частоты сердцебиений, которая также может служить выражением интенсивности обменных процессов в организме. Так, у 7-летнего ребенка в покое пульс составляет примерно 90 уд/мин, а у взрослого — 70, что в 1,28 раза ниже. Таким образом, годовалые дети за сутки проживают как бы 1,5 суток, а 7-летние — 1,25 суток. В этих условиях становится понятна необходимость дневного сна для восстановления сил, запас которых в детском организме также еще невелик.

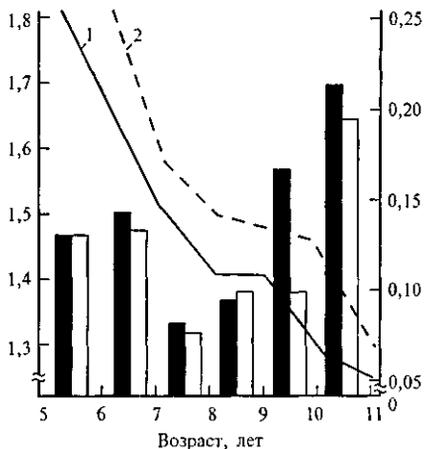


Рис. 8. Изменение интенсивности обмена покоя и относительных ежегодных приростов массы тела у детей 5—11 лет

Обозначения: по оси ординат — теплопродукция, ккал/кг-ч (слева); величина относительных приростов массы тела (справа); по оси абсцисс — возраст; 1 — изменение обмена покоя у девочек; 2 — то же у мальчиков; черные столбики — ежегодные относительные приросты у девочек; белые столбики — у мальчиков

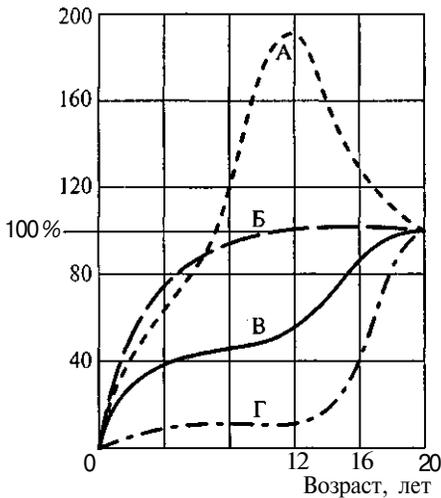


Рис. 9. Динамика роста разных типов тканей. За 100% принята масса соответствующей ткани у взрослого

Типы роста тканей организма. Разные ткани организма могут иметь различный тип ростовых процессов (рис. 9). Характер ростовых процессов обычно выражается кривой роста. В биологии развития различают четыре типа роста: А — лимфоидный (тимус, лимфатические узлы, лимфоидная ткань кишечника и т.п.); Б — мозговой (мозг и его части, твердая мозговая оболочка, спинной мозг, глаз, размеры головы); В — общий (тело в целом, внешние размеры, органы дыхания и пищеварения, почки, аорта и легочная артерия, мышечная система, объем крови); Г — репродуктивный (яички, придаток,

предстательная железа, семенные пузырьки, яичники, фаллопиевы трубы).

Для типа А характерна очень высокая скорость роста в первые 10 лет жизни и достижение максимальных размеров органа в препубертатный период, а затем — инволюция с наступлением полового созревания. Тип Б характеризуется постепенным замедлением скорости роста от рождения до созревания, причем уже в возрасте 8—10 лет орган практически достигает дефинитивных размеров. Тип В характеризуется быстрым ростом в начале постнатальной жизни, затем происходит торможение ростовых процессов, и вновь они ускоряются с наступлением пубертата. И наконец, тип Г, описывающий рост гонад, характеризуется медленным ростом в первые годы жизни и скачкообразным его ускорением с началом полового созревания.

Совершенно особый тип кривой роста характерен для подкожной жировой ткани. Очень высокая скорость роста жировой прослойки в первые месяцы жизни приводит к тому, что к 1 году у ребенка формируется весьма выраженный подкожный слой жира, который затем начинает уменьшаться, и лишь с преодолением ребенком возрастного рубежа 6—8 лет подкожный жир вновь накапливается. С учетом изменений общих размеров тела надо признать, что содержание подкожного жира в организме годовалого младенца относительно очень велико и в норме никогда в дальнейшем подобное состояние не наблюдается. В динамике роста подкожного жира выявляются довольно четкие различия между

мальчиками и девочками: у девочек как скорость роста, так и абсолютные размеры подкожной жировой клетчатки обычно выше.

Показатели физического развития. К показателям физического развития, которые обычно рассматриваются врачами, антропологами и другими специалистами с целью контроля за динамикой процессов роста и развития, относятся:

- масса тела;
- длина тела;
- окружность грудной клетки;
- окружность талии.

Наряду с этими могут рассматриваться также и другие показатели (например, размеры кожно-жировых складок, окружности отдельных звеньев тела — бедра, голени, плеча и т.п.). Однако для сопоставления с нормой и заключения о характере и уровне физического развития перечисленных показателей достаточно.

Оценка показателей физического развития. Для оценки показателей физического развития используют нормативные таблицы и шкалы, основанные на сигмальных отклонениях. Обычно оценивают отдельно каждый из показателей физического развития по сигмальной шкале, а также анализируют их соотношение на основании стандартных уравнений линейной регрессии для выявления дисгармоничных вариантов. Сигмальные шкалы позволяют оценивать результаты каждого измерения по 5-балльной шкале, в которой:

- $< M - 1,33 \sigma$ — низкий уровень;
- $< M - 0,67 \sigma$ — нижесредний уровень;
- $M \pm 0,67 \sigma$ — средний уровень;
- $> M + 0,67 \sigma$ — вышесредний уровень;
- $> M + 1,33 \sigma$ — высокий уровень.

При проведении оценки физического развития сначала оценивают длину тела, а затем соответствие массы тела и длин окружностей измеренной длине тела. Это делается с помощью стандартных уравнений линейной регрессии. Для количественной оценки используют специально разработанные стандарты физического развития.

Стандарты (нормативы) физического развития представляют собой результаты антропометрического обследования больших групп населения данной местности — не менее 100—150 человек на возраст-половую группу. Поскольку физическое развитие населения подвержено колебаниям в зависимости от географических, этнических, климатических, социальных, биогенных, экологических и иных факторов, стандарты и нормативы физического развития требуют регулярного (не реже 1 раза в 5—10 лет) обновления. Стандарты физического развития всегда имеют региональный характер, причем внутри регионов, населенных разными этническими группами, должны использоваться стандарты, разра-

ботанные на основании обмеров представителей соответствующих этнических групп. Это имеет большое значение в районах Крайнего Севера, Дальнего Востока, а также в Поволжье, на Кавказе и в других регионах России, где вместе проживают представители разных этносов и рас, имеющие существенные генетически определенные антропологические различия.

Темпы физического развития. Акселерация и ретардация. Темп физического развития — важная характеристика для оценки состояния здоровья каждого конкретного ребенка. Умеренное ускорение или замедление этого темпа может зависеть от множества факторов, но и то и другое всегда должно учитываться при сборе анамнеза и постановке любого клинического диагноза. Индивидуальное разнообразие темпов физического развития достаточно велико, но если оно укладывается в границы нормы — это свидетельствует об адекватности условий существования ребенка его морфофункциональным возможностям на данном этапе индивидуального развития.

Однако наряду с индивидуальными в отдельные периоды наблюдаются популяционные сдвиги в темпах физического развития. Так, в странах Европы, Северной Америки и некоторых странах Азии и Африки в XX в. стало наблюдаться ускорение темпов физического развития детей на уровне целых популяций. Такое явление получило название «эпохальный сдвиг», или «акселерация» (от лат. *accelero* — ускорять) физического развития. Оно проявлялось в том, что дети значительно опережали своих родителей в соответствующем возрасте по длине и массе тела, а также раньше достигали уровня половой зрелости. В период с 1960-х по 1990-е годы было проведено огромное число исследований с целью выявить сам факт акселерации роста и развития, а также попытаться дать ему рациональное объяснение. Среди гипотез относительно причин акселерации были такие, которые в разных видах связывали эти процессы с общим повышением уровня жизни и благосостояния населения Земли, которое нарастало более высокими темпами в тех странах, где акселерация началась раньше и была ярче выражена. Другая распространенная точка зрения — информационная гипотеза, согласно которой огромный объем информации, обрушившийся на детей с раннего возраста через печать, радио, телевидение и другие средства коммуникации, стимулирует ростовые процессы и ускоряет созревание организма. И наконец, третья точка зрения сводилась к тому, что акселерация — явление временное, связанное с какими-то экзогенными (например, зависящими от солнечной активности) или эндогенными (причины которых неизвестны) популяционными циклами, неоднократно на протяжении веков приводившими то к ускорению, то к замедлению (ретардации, от лат. *retardo* — замедлять, тормозить) физического развития человечества.

До настоящего времени ни одна из этих точек зрения не получила всеобщего признания, более того, все большее число исследователей склоняется к признанию совокупного воздействия всех этих факторов, которое и привело к резкому ускорению физического развития во второй половине XX в. Между тем измерения, сделанные в последние 5—10 лет в России, в странах Европы и Америки, показали, что процессы акселерации на популяционном уровне приостановились, отмечена даже некоторая тенденция к ретардации развития подрастающего поколения. Это обстоятельство свидетельствует более всего в пользу циклической теории акселерации-ретардации развития. Подтверждением этой концепции является и тот факт, что, судя по размерам воинских доспехов, средневековые рыцари отличались малыми размерами тела и грацильным телосложением, сходным с телосложением современных подростков. При этом, судя по данным археологических раскопок, жившие еще на 1000 лет раньше европейские жители древнего мира — Рима и Греции — были по своему физическому развитию ближе к современному типу представителя европейской расы.

Акселерация физического развития, проявившаяся в мире в последние 50 лет, практически не затрагивала темпов ментального и духовного развития, и это создавало определенные трудности в сфере обучения и воспитания. В частности, раннее достижение половой зрелости привело к массовому раннему вступлению подростков в половые отношения, что до сих пор представляет собой немалую социокультурную, педагогическую и медицинскую проблему.

Возрастное изменение общего плана строения тела. Общее представление об изменении строения тела с возрастом можно получить, рассмотрев рис. 7. Из него хорошо видно, что относительные размеры головы с возрастом весьма существенно уменьшаются, тогда как относительная длина конечностей значительно возрастает. Новорожденный ребенок относительно очень широк, причем его туловище по всей длине имеет примерно одинаковую ширину. К возрасту достижения половой зрелости появляются половые различия в строении тела: широкие плечи и узкий таз у юношей и четко выраженная талия с последующим расширением к тазу у девушек. Все эти изменения обусловлены различиями в темпах роста отдельных частей тела на разных этапах онтогенеза. В свою очередь они приводят к появлению как морфологических, так и физиологических особенностей, характерных для каждого из этапов индивидуального развития.

Морфологические критерии биологического возраста. Широкий разброс индивидуальных вариантов темпов развития приводит к тому, что календарный (паспортный) возраст и уровень морфофункционального развития (биологический возраст) могут доволь-

но существенно расходиться. Между тем для проведения социальных, педагогических, да и лечебных мероприятий с ребенком гораздо важнее ориентироваться на его индивидуальный уровень морфофункциональной зрелости, чем на календарный возраст. В связи с этим возникает задача оценки биологического возраста. Комплексное антропологическое и физиологическое исследование могло бы дать однозначный ответ на такой вопрос, но широкое проведение подобных исследований практически невозможно, а между тем знание степени биологической зрелости организма необходимо для многих практических целей. Поэтому выработаны простые морфологические критерии, которые с известной долей вероятности могут охарактеризовать биологический возраст ребенка.

Самый простой, но и самый грубый способ оценки биологического возраста — по *пропорциям тела — соотношению длины конечностей и туловища*. При этом следует подчеркнуть, что отдельно длина или масса тела, а также размер любой части тела не могут быть использованы в качестве критериев биологического возраста. Превышение уровня физического развития над среднепопуляционными значениями, также как и его отставание, само по себе еще не говорит о степени морфофункциональной зрелости организма. Так, например, высокий рост ребенка может означать не только то, что он быстрее других развивается (это как раз нам и предстоит выяснить), но также и то, что он станет высоким взрослым и уже сейчас обгоняет своих сверстников. Различить эти альтернативы по одному измерению невозможно. Другое дело — пропорции тела, учитывающие соотношение степени развития отдельных его частей: головы, туловища, конечностей. Но такая оценка может давать только очень грубый, приближенный результат, так как здесь вмешивается фактор биологического разнообразия, т.е. конституциональной принадлежности индивида. У потенциальных долихоморфов уже в детском возрасте ноги могут быть относительно длиннее, чем у их сверстников-брахиморфов, хотя скорость морфофункционального развития брахиморфов по многим показателям часто оказывается выше. Поэтому, судя по пропорциям тела, можно с уверенностью отнести ребенка только к той или иной возрастной группе, причем достаточно широкой.

Костный возраст. Гораздо более точный результат дает исследование костного (скелетного) возраста. Оссификация каждой кости начинается с первичного центра и проходит через ряд последовательных стадий увеличения и формирования области окостенения. Кроме того, в ряде случаев появляется один или несколько дополнительных центров окостенения в эпифизах. Наконец, эпифизы срастаются с телом кости, и созревание на этом завершается. Все эти этапы легко можно увидеть на рентгенограм-

ме. По числу имеющихся центров окостенения и степени их развития можно достаточно точно судить о костном возрасте. На практике наиболее часто для этих целей используют кисть и запястье (обычно левой руки). Это связано как с особенностями строения этого звена тела (множество костей и эпифизов), так и с технологическим удобством, сравнительной дешевизной и безопасностью процедуры. Сравнение полученной рентгенограммы со стандартами и балльная оценка степени развития многих костей позволяют количественно (в годах и месяцах) выразить полученный результат. Недостаток этого метода заключается в том, что он довольно трудоемок и требует проведения дорогостоящего и небезопасного для здоровья рентгенологического исследования.

Зубной возраст. Если подсчитать число прорезавшихся (или сменявшихся) зубов и сопоставить эту величину со стандартами, можно оценить так называемый зубной возраст. Однако возрастные периоды, когда такое определение возможно, ограничены: молочные зубы появляются в интервале от 6 месяцев до 2 лет, а смена их на постоянные происходит с 6 до 13 лет. В период от 2 до 6 лет и после 13 лет определение зубного возраста теряет смысл. Правда, возможно производить оценку степени окостенения зубов на основании рентгенограмм, как и в случае костного возраста, однако такой метод по понятным причинам не получил практического распространения.

Внешние половые признаки. В период полового созревания биологический возраст можно оценивать по внешним половым признакам. Есть разные — количественные и качественные — методики учета этих признаков, но все они оперируют одним и тем же набором показателей: у юношей это размер мошонки, яичек и полового члена, оволосение на лобке, в подмышечных впадинах, на груди и на животе, появление поллюций, набухание сосков; у девушек это форма и размер грудных желез и сосков, оволосение на лобке и в подмышечных впадинах, время первого появления и установления регулярных менструаций.

Последовательность появления и динамика степени выраженности перечисленных признаков хорошо известны, что дает основания для достаточно точной датировки биологического возраста в период от 11 — 12 до 15—17 лет.

Компоненты массы тела. При описании физического развития антропологи часто используют понятие «компоненты массы тела». При этом имеются в виду три важнейшие составляющие тела человека: кости, мышцы и жировая ткань. Ясно, что эти компоненты не исчерпывают всего разнообразия тканей организма, но данная концепция исходит из того, что остальные ткани имеют меньше количественных межиндивидуальных различий. Кроме того, каждый из этих компонентов является результатом развития одного из трех эмбриональных зародышевых

листочков, давших начало всем тканям организма: костный компонент имеет эктодермальное происхождение, мышечный — мезодермальное, жировой — эндодермальное. Таким способом как бы устанавливается онтологическая связь между зиготой, из которой образуются три зародышевых листка, и компонентами тела зрелого организма.

Известно, что ткани организма обладают неодинаковой метаболической активностью. Наиболее интенсивно и постоянно обменные процессы протекают в органах, состоящих из паренхиматозных тканей — таких, как печень, почки, эпителий желудочно-кишечного тракта и т.п. Метаболическая активность мышечной ткани очень сильно зависит от ее состояния: в условиях покоя мышца метаболически малоактивна, тогда как при нагрузке интенсивность метаболизма, например, в скелетной мышце может возрасти в 50—100 раз. Еще менее метаболически активна костная ткань, составляющая наряду с мышцами основу опорно-двигательного аппарата. И наконец, наиболее метаболически инертная ткань — жировая, скорость обменных процессов в которой может снижаться практически до нуля. В связи с этим иногда жировую ткань рассматривают как некий балласт в составе тела, исключительно негативно влияющий на организм, создающий дополнительную нагрузку на мышцы и системы вегетативного обеспечения мышечной деятельности (прежде всего, сердца и сосудов, а также дыхания, выделения и др.) при любом двигательном акте. Поэтому во многих случаях в оздоровительных целях стараются контролировать количество жира в организме.

Наиболее точные способы измерения количества жира связаны с применением ультразвуковых диагностических приборов и компьютерной томографии. Сегодня на практике чаще всего используют измерение кожно-жировых складок с помощью специального прибора калипера, напоминающего по конструкции штангенциркуль. Для практических целей обычно измеряют от 3 до 10 кожно-жировых складок и по формулам или номограммам, разработанным с учетом возрастных и половых особенностей, определяют количество жира в теле, или «жировую массу организма». Разница между массой всего тела и жировой массой составляет «обезжиренную массу». Эта величина очень тесно коррелирует с интенсивностью обменных процессов в организме, причем независимо от телосложения индивидуума. Это и понятно, так как «обезжиренная масса» представляет собой сумму масс всех метаболически активных тканей тела.

Разумеется, контроль количества жировой ткани в организме необходим, причем с самого раннего детского возраста. Переедание, несбалансированное (преимущественно углеводное) питание и другие причины экзогенного характера могут приводить к ожирению, вредному для здоровья. Однако нельзя вовсе отрицать

необходимость наличия жира в организме. Не говоря уже о том, что жировая ткань — депо наиболее калорийных питательных веществ (окисление 1 г жира дает почти вдвое больше энергии, необходимой для жизнедеятельности любой клетки тела, чем окисление 1 г углеводов), она выполняет также функцию запасаения многих биологически активных веществ, в частности стероидных гормонов. Эти вещества способны растворяться в жировых каплях, наполняющих жировые клетки, и при необходимости могут поступать в кровь и становиться доступными для других тканей организма. Чрезмерное снижение количества жира в организме приводит к нарушениям гормональной сферы. В частности, для нормального полового развития и поддержания половой функции в организме должно быть определенное количество жира (около 10—15%), причем в женском организме примерно в 2 раза больше, чем в мужском. Недостаток жира (истощение) неминуемо приводит к дисфункции половых желез, расстройству менструального цикла у женщин и импотенции у мужчин.

Имеются данные о том, что количество жировых клеток в организме человека предопределено генетически, а избыточное или недостаточное жиरोотложение определяется не увеличением или уменьшением числа этих клеток, которое остается неизменным от рождения до старости, а степенью их наполненности запасенным жиром.

Соотношение количества костного, мышечного и жирового компонентов определяет *телосложение* человека.

Телосложение и конституция. Телосложение — одно из наиболее фундаментальных понятий антропологии, исследованию которого посвящены сотни работ начиная с середины XIX в. На особенности телосложения и связанные с ними особенности нервно-психических процессов и заболеваемости обращали внимание еще древние и средневековые врачи. Все это привело к появлению учения о конституции человека. Под конституцией человека обычно понимают комплекс анатомических, физиологических и психологических особенностей индивида, закрепленных генетически и определяющих формы и способы его адаптации к самым разным внешнесредовым воздействиям, а также заболеваемость и характер протекания болезней (что тоже, разумеется, отражает адаптивные свойства). Как древние, так и самые современные авторы понимают конституцию комплексно, как некий синтез разных сторон индивидуальности человека. Биологическая сущность человека характеризуется тремя главными составляющими: строением тела, физиологией жизненных функций и метаболизма и психологическими особенностями личности. Они взаимосвязаны и в комплексе составляют конституцию человека — наиболее фундаментальную характеристику целостного организма (табл. 1).

**Морфофункциональные свойства, характерные для людей
разных типов телосложения
(по Дж.Харрисон, Дж.Уайнер и др.)**

Показатель	Тип телосложения		
	дигестивный	мышечный	торакальный
Внешние признаки:			
кости скелета плечи	Широкие Не шире бедер	Широкие Шире бедер	Узкие Немного шире бедер
конечности	Сравнительно короткие	Сравнительно средние	Сравнительно длинные
угол между нижними ребрами	Тупой	Прямой	Острый
Функциональные свойства:			
объем легких	Относительно малый	Относительно средний	Относительно большой
мышечная сила выносливость	Большая Малая	Большая Средняя	Малая Большая
Наиболее вероятные заболевания	Диабет, инсульт	Инфаркт миокарда	Болезни легких
Некоторые сопряженные психологические свойства	Любовь к комфорту Жажда похвалы Тяга к людям в тяжелую минуту	Любовь к приключениям Эмоциональная черствость Тяга к действию в тяжелую минуту	Необщительность Эмоциональная сдержанность Тяга к одиночеству в тяжелую минуту

Однако в медицинской науке широко распространено и представление о частных конституциях, имеющих порой весьма узкое значение. Телосложение — один из важнейших признаков конституции, в котором она манифестируется и по которому можно с большой долей вероятности прогнозировать многие индивидуальные особенности человека, включая некоторые черты характера (рис. 10).

Популяционные исследования позволили установить, что встречаемость разных типов телосложения неодинакова в различных регионах, у представителей разных рас и этнических групп. Для взрослых русских жителей г. Москвы характерно распределение: астено-торакальный тип — 30%; мышечный тип — 50%; диге-

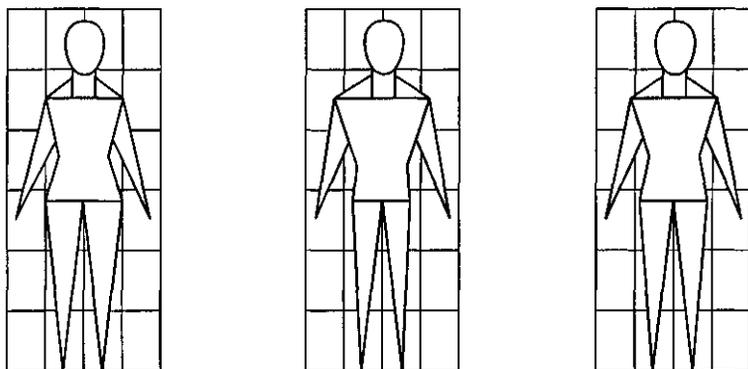


Рис. 10. Типы телосложения человека:

а — дигестивный или эндоморфный (пикнический); *б* — мышечный, или мезоморфный (атлетический); *в* — торакальный, или эктоморфный (лептосомный)

тивный тип — 20 %. У детей соотношения могут быть иными, так как диагностика типа конституции у детей затруднена из-за недостаточной выраженности морфологических конституциональных признаков. Значительное количество (иногда до 50 %) детей в возрасте до 14–15 лет антропологи относят к промежуточным и неопределенным типам. Кроме того, у детей обычно менее развита мускулатура, поэтому представленность мышечного типа в детских популяциях, по оценкам антропологов, существенно ниже.

Для практических целей обычно достаточно приблизительной, грубой оценки конституциональной принадлежности. В этом случае можно использовать простые показатели, легко измеряемые в ходе ежегодного медицинского осмотра детей в дошкольных учреждениях и учебных заведениях.

Типология физическогоразвития. Конституциональная принадлежность ребенка во многом определяет скорость ростовых и дифференцировочных процессов на разных этапах индивидуального развития. Так, например, представители дигестивного типа конституции раньше входят в период полового созревания и, по некоторым данным, в более раннем возрасте достигают половой зрелости. По другим данным, правда, первыми достигают половой зрелости представители мышечного типа. Однако во всех исследованиях было показано, что представители астено-торакального типа достигают половой зрелости позднее других, хотя пубертатный скачок роста они проходят в те же сроки, что и «мышечники». Известно также, что ростовые процессы у людей с мышечным телосложением заканчиваются обычно раньше, чем у людей астенического и торакального типов.

Менее детально изучено достижение уровня полуростового скачка представителями разных типов конституции, но и здесь прослеживаются конституциональные различия в темпах развития.

Физическое развитие и двигательные возможности ребенка. Некоторые двигательные возможности непосредственно связаны с уровнем физического развития. Это относится, например, к проявлению мышечной силы. Дети, обладающие более высоким уровнем физического развития, обычно сильнее своих сверстников, что обусловлено большей абсолютной массой скелетных мышц. В то же время относительная сила мышц (в расчете на единицу массы или на единицу поперечного сечения мышцы) может быть выше у детей с некоторым отставанием в физическом развитии.

Темп физического развития в некоторые периоды онтогенеза может определять биомеханические особенности движений и, как следствие, двигательные возможности ребенка. Дети 1-го года жизни, имеющие вышесредний и высокий уровень физического развития, в среднем на 1—2 мес позже начинают самостоятельно ходить, чем дети с нижесредним и низким уровнем физического развития. Уже упоминалось о том, что до полуростового скачка дети не способны к реализации фазы полета в беге. Пубертатный скачок роста, связанный с резким изменением пропорций тела и удлинением конечностей, приводит обычно к временной дискоординации движений (обычно в возрасте 13—14 лет). Дети и подростки с высоким уровнем физического развития обладают, как правило, более низкой выносливостью, чем их сверстники со средним и нижесредним уровнем физического развития. Особенно негативно на двигательных возможностях сказывается наличие избыточного жираотложения. Таким образом, уровень физического развития не всегда отражает степень функциональной зрелости физиологических систем.

Часто встречающиеся отклонения в физическом развитии. Отставание и опережение в физическом развитии. Физическое развитие является внешним интегральным проявлением адекватности процессов роста и развития условиям существования организма. Любые существенные отклонения от нормы в физическом развитии свидетельствуют об относительном неблагополучии в состоянии здоровья индивидуума.

Следует иметь в виду, что только в случае существенного отклонения от стандартов можно говорить о нарушениях в темпах роста и физического развития. В этом смысле в равной степени должны вызывать озабоченность как низкий, так и высокий уровень физического развития, хотя причины, их вызывающие, обычно существенно разнятся. Кроме того, при оценке уровня физического развития конкретного ребенка следует учитывать также физическое развитие (длину и массу тела) его родителей. Метода-

ми близнецового анализа показано, что физическое развитие и телосложение примерно на 70 % определяются наследственностью и лишь на 30% факторами внешней среды, в которой протекает рост и развитие.

Низкий уровень физического развития может быть следствием недостаточности питания или каких-то его компонентов (витаминов, незаменимых аминокислот, микроэлементов и т.п.), чрезмерной физической нагрузки, а также следствием ряда хронических заболеваний. Если к этому нет генетической предрасположенности, низкий уровень физического развития служит основанием для детального медицинского обследования ребенка с целью выяснения анамнеза и выявления возможных хронических патологий. В первую очередь обращают внимание на состояние эндокринного аппарата, сердца и сосудов, почек и печени.

Высокий уровень физического развития, если он не сопряжен с избыточной массой тела и не имеет генетических корней, требует пристального внимания, в первую очередь к состоянию эндокринных органов. Чаще всего, однако, высокий уровень физического развития сочетается с ожирением, что также свидетельствует о нарушениях эндокринной сферы и является показанием для детального диспансерного обследования ребенка.

Как отставание, так и опережение в темпах физического развития могут быть следствием отклонений в функциях центральной нервной системы.

Дисгармоничность физического развития. Под дисгармоничностью физического развития обычно понимают резкое несоответствие массы тела его длине, а также несоответствие обхватных размеров продольным. Кроме того, дисгармоничным можно считать проявление женских черт строения тела (большой объем бедер и таза при узкой грудной клетке) у мальчиков и мужских (узкий таз в сочетании с широкими плечами, избыточная маскулинизация) — у девочек.

Дисгармоничность может возникнуть в результате некоторых видов спортивной тренировки, особенно в случаях ранней спортивной специализации. Так, нередки случаи проявления дисгармоничного физического развития у девочек, занимающихся спортивной гимнастикой с 5—7-летнего возраста. Подобные формы дисгармоничности, вызванные экзогенными факторами, могут оказывать отрицательное влияние на динамику процессов роста и развития и сказываться в дальнейшем в течение всей жизни, даже если причины, их вызвавшие, уже давно устранены. К развитию дисгармоничности могут вести также травмы, полученные в детском возрасте, особенно если повреждены те или иные отделы позвоночника. Нередко при этом страдают и нервные центры спинного мозга, а также проводящие пути, иннервирующие скелетные мышцы и кости туловища и конечностей.

Чаще всего дисгармоничность физического развития является либо результатом перенесенных в раннем периоде развития болезней, связанных с нарушением роста и развития опорно-двигательного аппарата (например, рахит), либо проявлением отклонений в деятельности желез внутренней секреции, но не указывает однозначно на этиологию процесса. Для таких детей обычно невозможно определить конституциональную принадлежность, так как морфологические и функциональные свойства не согласованы между собой. Дисгармоничность в форме диспластичности является фактором повышенного риска возникновения широкого круга заболеваний — от инфекционных до раковых, причем прогноз течения многих заболеваний в этом случае неблагоприятный.

Во всех случаях выявления детей с признаками дисгармоничности физического развития требуется повышенное внимание к анамнезу, условиям жизни, объему учебной и физической нагрузки и т.п.

Плоскостопие. Наиболее распространенным видом дисгармоничности физического развития является уплощенная стопа, или плоскостопие. Свод стопы, приспособленный для реализации прямохождения, — специфическая особенность человека, отличающая его от всех других приматов. Развитый свод стопы определяет силу отталкивания от поверхности при ходьбе и беге и создает оптимальные условия для деятельности мышц ног, что обеспечивает высокую выносливость. Недостаток или неправильная организация двигательной активности в раннем возрасте, а также избыточная масса тела нередко приводят к уплощению стопы и, как следствие, к повышенной утомляемости при стоянии, ходьбе и беге. В ряде случаев развившееся плоскостопие может препятствовать осуществлению некоторых видов деятельности. Сильно выраженное плоскостопие отражается на характере афферентной импульсации при локомоциях и может негативно сказываться на динамике процессов созревания механизмов моторного контроля. В частности, этот фактор может тормозить развитие координации движений, ограничивая тем самым двигательные возможности ребенка.

Для выявления плоскостопия используется метод плантографии — получения оттиска следа подошвы ноги на бумаге с помощью красящего вещества.

Лечение плоскостопия обычно осуществляют с помощью специальных супинаторов — обувных прокладок, дозирующих нагрузку на разные участки подошвы ноги. Для профилактики плоскостопия наиболее эффективны специальные физические упражнения, укрепляющие мышцы свода стопы, а также массаж. При этом следует иметь в виду, что подошва ноги — одна из самых мощных рефлексогенных зон организма, и ее раздражение явля-

ется сильным стимулирующим действием, затрагивающим многие органы и системы, особенно — иннервируемые средним и нижним отделами спинного мозга. Возбуждение спинальных ганглиев через массаж подошвенных рефлексогенных зон ведет также к активации тонической мускулатуры, что имеет первостепенное значение для формирования осанки.

Нарушения осанки. Нарушения осанки, как правило, связаны с искривлением позвоночника в том или ином его отделе. Причины возникновения нарушений осанки чаще всего кроются в неправильном подборе мебели для детей, что заставляет их принимать неадекватную позу. В результате происходит неравномерное развитие мышечного каркаса позвоночника, что в конечном счете ведет к его искривлению в боковом направлении. Наиболее эффективным средством профилактики нарушений осанки являются физические упражнения, развивающие тонические мышцы спины и шеи. При хорошо развитом мышечном каркасе осанка сохраняется даже в случае использования неудобной мебели. В возрасте до 5—6 лет есть возможность исправить осанку путем выполнения традиционных физических упражнений. В старшем возрасте, когда особенно часто и начинают проявляться эффекты нарушения осанки из-за повышения объемов статических нагрузок, связанных с длительным неподвижным сидением, необходимо применение специальных упражнений, формирующих мышечный каркас. Определенный эффект может дать также массаж и электростимуляция латеральных мышц. В тяжелых случаях бывает необходимо хирургическое вмешательство.

Вопросы и задания

1. В чем различие понятий «рост» и «развитие»?
2. Что такое «скачок роста»?
3. Как происходит минерализация костей? Какой витамин для этого необходим?
4. Из каких частей состоит скелет человека? В чем особенности их роста и развития?
5. Что такое физическое развитие и как его оценить?
6. Как размеры тела влияют на физиологические функции?
7. Какие бывают типы роста тканей организма?
8. Что такое акселерация и ретардация? Каковы их причины и последствия?
9. Назовите морфологические критерии для определения биологического возраста.
10. Что такое компоненты массы тела?
11. Перечислите основные варианты (типы) телосложения.
12. Как предотвратить наиболее часто встречающиеся отклонения в физическом развитии?

Глава 5. ОРГАНИЗМ И СРЕДА ЕГО ОБИТАНИЯ

Организм как биологическая особь. Все живые существа независимо от уровня их организации существуют благодаря тому, что они взаимодействуют с себе подобными, состоящими с ними в генетическом родстве. В этом взаимодействии заключен глубокий смысл, поскольку оно обеспечивает непрерывный обмен генетическим материалом и успешное приспособление каждого биологического вида к требованиям окружающей его среды. Такая общность называется *популяцией*, и именно популяция является тем материалом, над которым трудится естественный отбор.

Любая популяция живых существ состоит из отдельных организмов, каждый из которых имеет свой собственный уникальный набор генов и способен по крайней мере какое-то время существовать отдельно от других членов популяции, имея свою собственную, *особую* судьбу. Именно поэтому каждый организм представляет собой биологическую *особь*, независимо от того, состоит он из одной единственной клетки, как амeba, или его тело сложено из миллиардов разнообразных клеток, как тело человека.

Особь отделена от окружающего ее мира, в том числе и от ей подобных, оболочкой — это может быть клеточная мембрана у одноклеточного, хитиновый покров насекомого или кожный покров человека. Так или иначе, ВСЕ клетки, все органы данного организма находятся внутри этой оболочки. А все, что остается снаружи — это окружающий мир. Такая оболочка служит естественной границей между организмом и окружающей его средой. Для того чтобы успешно жить в этом мире, каждый организм находит пути приспособления к его требованиям. Часть этих приспособлений, общих для всего вида, для целой популяции, выработана в процессе эволюции. Обычно они закрепляются на генетическом уровне, и их функциональный анализ представляет собой задачу экологической физиологии. Другие являются индивидуальными, сформировавшимися в течение индивидуальной жизни данной особи. При этом условия этой жизни на различных этапах онтогенеза могут существенно различаться. Изучение таких приспособлений и их последовательная смена в процессе роста и развития как раз и представляют интерес для физиологии развития.

Взаимоотношения материнского организма и плода во внутриутробном периоде. Индивидуальная история особи начинается в тот момент, когда происходит зачатие — слияние мужской и женской половых клеток и образование *зиготы*. Зигота у всех живородящих существ, включая человека — это уже организм, но еще не особь, поскольку она не может существовать самостоятельно, вне материнского тела. Питание такое существо получает вначале за

счет диффузии из окружающей его жидкости. На этом этапе своего развития существо называется эмбрионом. Вскоре, однако, ему требуется значительное увеличение потоков питательных веществ и кислорода, происходит формирование плаценты — специального сосудистого сплетения, которое обеспечивает тесную связь между организмом матери и ее развивающимся потомком. Живое существо в таком состоянии называется *плодом*. Плод развивается благодаря тому, что имеет самую тесную гуморальную связь с материнским организмом, получая от него все необходимые питательные вещества, а также многие информационные молекулы, которые существенно влияют на состояние организма плода. Со своей стороны, плод также оказывает влияние на материнский организм, причем иногда между ними даже возникают острые противоречия (например, иммунная несовместимость групп крови), способные повредить как материнскому организму, так и плоду. При этом плод нельзя рассматривать как какой-либо орган или вырост материнского организма: никаких нервных связей между организмом матери и плодом нет. Он имеет вполне самостоятельную, замкнутую кровеносную систему, а взаимодействие (обмен веществ) материнского организма и плода осуществляется через плаценту — специальное образование, в котором кровеносные капилляры матери и плода на большой поверхности разделяются лишь тонким слоем ткани, составляющим *плацентарный барьер*. Через этот барьер свободно проникают все необходимые плоду питательные вещества, продукты метаболизма, а также разнообразные молекулы биологически активных веществ (БАВ).

Находясь во чреве матери, плод не испытывает нужды самостоятельно поглощать пищу и кислород, защищаться от атмосферных осадков или заботиться о поддержании температуры своего тела. Все это обеспечивает ему материнский организм. Однако благодаря разворачиванию генетической программы в организме плода постепенно созревают все те физиологические механизмы, которые понадобятся ему с первой минуты самостоятельной жизни.

Момент рождения — один из узловых периодов онтогенеза. После того как достигнут предопределенный генетической программой уровень развития плода, он появляется на свет. Акт рождения ребенка представляет собой очень тяжелую работу для матери, поскольку изгнание плода из чрева происходит за счет сокращений ее мышц — гладкой мускулатуры стенок матки и поперечно-полосатой мускулатуры стенок брюшной полости. Для того чтобы плод без повреждений прошел через родовые пути, кости таза женщины имеют некоторую подвижность, и раздвигая их, плод, выталкиваемый мощными и болезненными для женщины мышечными сокращениями, покидает место своего первичного обитания. Обычно это происходит через 10 лунных месяцев после зачатия, т.е. в среднем на 280-й день беременности. Отклонение от

этого срока на несколько дней в любую сторону не считается патологией. Способны выживать даже дети, родившиеся на 7-м месяце беременности, если в их организме нет органических пороков, а масса тела достигает по меньшей мере 900—1000 г. Большинство здоровых младенцев рождается с массой от 2 до 4 кг. В момент рождения плод все еще связан с организмом матери пуповиной — специальным трубчатым образованием, в котором спрятаны кровеносные сосуды, прикрепленные к плаценте. Именно через эти сосуды плод получает питание в течение всего срока беременности. После рождения пуповину перевязывают и перерезают (самки животных перегрызают пуповину, одновременно дезинфицируя ранку своей слюной, в которой содержится много антибактериальных ферментов). После этого мать рождает еще и плаценту — больше она не нужна и должна быть удалена из организма (это событие проходит почти безболезненно и потому многие женщины о нем даже не помнят в последующем). Пупочная ранка ребенка заживает в течение нескольких дней, а остаток пуповины отваливается, но на животе навсегда остается шрам в том месте, к которому прикреплялась пуповина, — пупок.

У всех новорожденных позвоночных, независимо от их биологического вида, голова особенно крупная — это связано с тем, что заключенный в ней головной мозг должен пройти внутриутробно наиболее важные этапы развития, которые невозможно будет наверстать после рождения. Для того чтобы крупная голова плода могла пройти через родовые пути, череп перед рождением принимает особую вытянутую форму, а сами кости черепа обладают некоторой подвижностью, так как соединения между ними еще сохраняют хрящевые участки, обладающие гибкостью и эластичностью. Срастание костей черепа происходит в течение нескольких месяцев после рождения. Для этой же цели в конце беременности плод располагается в матке головой вниз — таким образом, голова оказывается первым звеном тела, появляющимся из утробы, и раньше других частей тела избавляется от огромного давления, оказываемого на тело плода мышцами матери в процессе родовой деятельности. Бывает неправильное расположение плода в матке (головой вверх), и тогда многое зависит от искусства акушера, который помогает матери разрешиться от бремени. Процесс родов во все времена был для человека очень напряженной ситуацией, поэтому у разных народов выработались специальные правила, традиции, обычаи, помогавшие правильно обращаться с роженицей и новорожденным. В современном мире эту заботу на себя берет профессиональная медицина.

Процесс родов оказывает острое стрессорное воздействие на организм ребенка. Прохождение через родовые пути вызывает мощнейшую механическую стимуляцию всех без исключения органов новорожденного, а соприкосновение с принципиально но-

выми условиями окружающей среды ведет к напряжению вегетативных систем организма. Ведь до рождения плод находился, как в инкубаторе, в условиях неизменной и самой благоприятной температуры, был защищен от света и шума, не зависел от состояния атмосферы, был изолирован от болезнетворных и сапрофитных (безвредных) микробов и т. п. Теперь ему придется в течение всей жизни сталкиваться с комплексом факторов, составляющих окружающую внешнюю среду.

Факторы внешней среды, воздействующие на организм в процессе его жизнедеятельности, роста и развития

Для рассмотрения того, как окружающая среда воздействует на организм человека в течение всей его жизни от рождения до смерти, удобно разделить факторы среды по природе их воздействия на *физические, химические, биологические* и *социальные*.

Физические факторы. Человек на протяжении всей своей постнатальной жизни постоянно взаимодействует с двумя основными физическими факторами, к которым организму приходится непрерывно приспосабливаться, — это температура окружающей среды и сила тяжести (гравитация). Реакция организма на оба эти фактора самым непосредственным образом связана с массой, геометрическими размерами и пропорциями тела, которые меняются по мере возрастного развития. Другие физические факторы, также определяющие особенности среды обитания человека, воздействуют на организм независимо от его формы и размеров (например, влажность, атмосферное давление, газовый состав окружающего воздуха, инсоляция и т.п.).

Температура — постоянно действующий фактор переменного значения. Клетки организма нуждаются для своего нормального функционирования в постоянной температуре около 37°C , изменение температуры на 10°C в ту или иную сторону способно в 2—3 раза изменить скорость всех биохимических реакций, причем их согласованность в этом случае будет нарушена. Если температура тела опускается ниже $+25$ или поднимается выше $+42^{\circ}\text{C}$, клетки тела погибают и наступает смерть.

Изменения внешней температуры требуют приспособления организма к этому переменному фактору. В этом случае очень важны размеры и пропорции тела, так как, согласно физическим законам, интенсивность производства тепла в организме пропорциональна его массе, а скорость теплоотдачи пропорциональна площади поверхности тела. Изменение размеров и пропорций, происходящее в результате роста, непосредственно сказывается на балансе продукции и отдачи тепла. Ребенок обладает относительно большой поверхностью тела (т.е. на 1 см^2 поверхности у

ребенка приходится меньшее количество его массы), поэтому для него задача вывести избыточное тепло решается легче, чем вырабатывать дополнительное количество тепла. В то же время относительно большая поверхность тела ребенка приводит к тому, что при низкой температуре он быстрее охлаждается.

Повышенная температура среды требует — во избежание перегрева — активации функций, способствующих теплоотдаче: усиливаются поверхностный кожный кровоток, а также легочная вентиляция и потоотделение — все это способствует переносу тепла из «ядра» тела к его поверхности и выделению избыточного тепла в окружающее пространство. Пониженная температура, напротив, требует сохранения тепла в организме: сужаются кожные кровеносные сосуды, снижается активность внешнего дыхания, прекращается потоотделение и усиливается теплопродукция за счет повышения интенсивности метаболизма.

В организме взрослого человека дополнительное тепло при охлаждении образуется главным образом в печени и скелетных мышцах (всем известно, когда холодно, мы начинаем дрожать — это и есть проявление терморегуляторной активности мышц: не производя никакой внешней работы, они непрерывно сокращаются, согревая протекающую через них кровь).

У детей есть орган, специально предназначенный для производства дополнительного тепла, — бурая жировая ткань. Это жировые клетки, которые обильно снабжаются кровью и содержат огромное количество митохондрий. Особенностью митохондрий бурого жира является их способность «сжигать» большое количество жира, не производя АТФ. При этом практически вся высвобождающаяся энергия превращается в тепло. Таким образом, бурая жировая ткань выполняет в детском организме роль своеобразной «печки», которая включается каждый раз, когда ребенку становится холодно. Сигналом для такого включения служит воздействие симпатического отдела ЦНС и ее медиатора норадреналина, который может также поступать из надпочечников. Бурый жир расположен у детей под кожей между лопатками, вдоль крупных шейных сосудов, а также около крупных сосудов внутри грудной клетки и брюшной полости. У взрослых бурая жировая ткань встречается редко, это специальный «детский» орган, исчезающий по мере взросления. Так же ведут себя многие лимфатические железы, обеспечивающие иммунитет (зобная железа, слюнные и другие). Перенесенные ребенком острые заболевания (воспаление легких, грипп и другие) могут приводить к уменьшению размеров и активности бурого жира. Поэтому так важно соблюдать комфортный температурный режим для больных и выздоравливающих детей.

Детский организм более чувствителен к изменениям внешней температуры, чем взрослый. Температурный диапазон, в котором

человек чувствует себя комфортно, составляет для взрослого от +25 до +30 °С, а для ребенка первого года жизни — от +27 до +33 °С. Защиту от колебаний температуры окружающей среды человеку обеспечивает одежда. Она должна быть такой, чтобы внутри (на поверхности кожи под одеждой) температура приближалась к зоне комфорта. При этом важно, чтобы одежда не препятствовала воздухообмену: ведь кожа должна дышать, а испарения потовых желез должны иметь выход, иначе кожные покровы начинают преть, что часто бывает при неправильном уходе за маленькими детьми.

Механизмы терморегуляции у детей начинают интенсивно развиваться в возрасте 4—5 лет, именно в этом возрасте наиболее эффективны различные закаливающие процедуры, благодаря которым сосудистые реакции ребенка приобретают подвижность, необходимую для эффективного поддержания постоянной температуры тела. Закаливание позволяет ребенку защититься от простуд и повышает общий иммунитет организма.

Гравитация (сила тяжести) — другой постоянно действующий фактор, который связан с массой и формой тела. В отличие от температуры уровень гравитационного воздействия не колеблется, и даже различия в силе тяжести, которые можно с помощью точных физических приборов определить на экваторе и на полюсах Земли, либо на уровне моря и высоко в горах, не столь уж существенны, и организм человека на них практически не реагирует. Однако любое перемещение тела или его части в поле земного тяготения требует специальных усилий по преодолению гравитации, а следовательно, дополнительных затрат энергии. Перемена положения тела (лежа, сидя, стоя) весьма существенно изменяет условия, в которых функционируют вегетативные системы — кровообращение, дыхание, выделение и др. При вертикальном положении тела сердцу приходится выполнять значительно (у взрослого человека — на 15—20%) большую работу по преодолению гидростатического сопротивления столба крови, чтобы обеспечить нормальные условия кровоснабжения тканей, особенно головного мозга. У ребенка, имеющего меньшие размеры тела, изменение его положения в пространстве сказывается в меньшей степени. Именно поэтому кровяное давление у детей в норме существенно ниже, чем у взрослых, меньше также разница между систолическим и диастолическим давлением (правда, кроме геометрических размеров, здесь еще имеет значение эластичность сосудов, которая у детей выше, и их тонус, который у детей ниже, чем у взрослых).

Влажность. Абсолютно сухой, как и 100 % влажный, воздух тяжел для дыхания человека. В пустынях и жарких степях бывает такая сухость воздуха, что дыхание «перехватывает» из-за высыхания слизистых оболочек воздухоносных путей. У детей чувствительность к потере влаги выше, чем у взрослых, что необходимо учитывать,

особенно при организации двигательной активности детей в летнюю жару, которая всегда связана с активацией дыхания. В тропических и жарких странах с морским климатом, а также в летние месяцы в районах, где много природных водоемов, наблюдается избыточная влажность, которая также снижает эффективность работы легких. В таких ситуациях умственная и особенно физическая работоспособность снижается, причем у детей в значительно большей степени, чем у взрослых.

Инсоляция и другие формы электромагнитных излучений. Солнечные лучи, попадая на тело человека, вызывают изменение цвета его кожи (загар), который является ответной адаптивной реакцией организма. Темная кожа в меньшей степени пропускает лучистую энергию солнца вглубь тела, защищая клетки от ультрафиолета, способного повредить крупные белковые молекулы. Детская кожа до полового созревания обычно намного менее пигментированная, чем у взрослых, поэтому уровень инсоляции для детей необходимо строго контролировать. Даже взрослый может легко обжечь свои кожные покровы ярким солнцем, особенно вблизи воды (мельчайшие капельки воды действуют как увеличительные стекла, а их испарение на ветру с поверхности тела создает обманчивое ощущение прохлады). Перегрев на солнце (солнечный удар) и солнечный ожог — довольно частые явления, особенно у городских детей, резко меняющих с началом каникул уровень инсоляции своей кожи. Жители сельской местности, как правило, более адаптированы к воздействию солнечных лучей, имеют более смуглую кожу, а смена сезонов и связанное с ней изменение уровня инсоляции для них происходит более плавно и постепенно.

Не только солнце, но и другие источники электромагнитного излучения могут быть опасны, если это излучение превышает гигиенически допустимые нормы. В частности, такими источниками являются телевизионные и радиопередающие устройства, включая сотовые телефоны. Контакт детей с такими источниками должен быть ограничен, так как детский организм более чувствителен к излучению, чем взрослый. По этой же причине детям в ограниченном объеме и только в силу необходимости назначают разного рода медицинские процедуры, связанные с применением рентгеновского излучения.

Особую опасность представляют источники радиоактивного излучения. Последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС особенно тяжелы тем, что пострадало большое число детей, у которых под воздействием радиоактивного излучения нарушается, в первую очередь, гормональная регуляция функций. Особенно часто в таких случаях наблюдается поражение щитовидной железы, а также половых желез. Радиоактивные изотопы, длительное время сохраняющиеся в зонах заражения, способны нарушать самые разные биохимические и физиологические процессы, угнетать рост

и развитие и вызывать многие крайне тяжелые заболевания вплоть до лучевой болезни, поражающей систему кроветворения. Это заболевание приводит к резкой потере иммунитета и ослаблению кислородтранспортной функции крови, утрате половой функции, а в тяжелых случаях к смерти.

Парциальное давление атмосферных газов. Каждый газ, находящийся в сосуде, стремится заполнить собой весь объем этого сосуда. Если таких газов несколько, как это имеет место в нашей земной атмосфере (которую условно можно рассматривать в качестве такого сосуда — хотя он и не имеет «стенок», но газы удерживаются около Земли силой ее тяготения), то все равно каждый из них заполняет собой все пространство. Находясь в сосуде, газ оказывает на его стенки определенное давление, которое тем больше, чем больше количество данного газа в сосуде. Атмосферный воздух давит на поверхность Земли, и это давление равно весу столба воздуха от поверхности Земли до верхних, разреженных слоев атмосферы. При этом каждый из газов, составляющих смесь, оказывает свою часть давления. Вот эта часть и называется «парциальным давлением». Согласно законам физики, парциальное давление газа пропорционально его количественной (объемной) доле в данной газовой смеси. Кислород, которым мы дышим, составляет 21 % от общего объема атмосферного воздуха.

Плотность воздуха на уровне моря и высоко в горах сильно различается — с увеличением высоты воздух становится все более разреженным: сказывается уменьшение силы земного тяготения. Меняется атмосферное давление также в зависимости от погодных условий — в зонах циклонической активности оно заметно понижено, а в центре антициклона — повышено по сравнению с «нормой», за которую принято давление 760 мм рт. ст. — наиболее типичное давление на уровне моря в спокойную и ясную погоду. Такие колебания атмосферного давления приводят к тому, что меняется парциальное давление кислорода. Учитывая, что именно парциальное давление кислорода является тем физическим фактором, который обеспечивает его проникновение в организм, легко понять, что такие колебания давления атмосферы влияют на снабжение всех тканей организма кислородом. Жители высокогорных регионов, родившиеся и выросшие в этих условиях, хорошо адаптированы к некоторому недостатку кислорода в окружающем их воздухе, причем эта адаптация закреплена на генетическом уровне. Для жителей равнинных районов требуется некоторое время, чтобы приспособиться к условиям высокогорья. Детский организм, в котором процессы окислительного обмена протекают более интенсивно, чем у взрослых, более чувствителен к любым перепадам парциального давления кислорода. Возможно поэтому маленькие дети становятся беспокойными и капризными при приближении грозы (зона пониженного атмосферного давления). Ука-

занные обстоятельства необходимо учитывать также при организации путешествий и отдыха для детей, если они предполагают пребывание в высокогорных областях: такие путешествия детям не противопоказаны, но требуют соблюдения строгого режима, ограничения спонтанной двигательной активности и профилактики стрессовых состояний. Не рекомендуется маленьких детей, рожденных и проживающих обычно на равнинах, вывозить для отдыха в горы на высоты свыше 2000—2500 м.

Геоманнитные поля. В последние десятилетия многочисленные исследовательские группы пытаются выяснить, насколько и в каком направлении способны повлиять на состояние организма человека изменения, обусловленные нестабильностью земного магнетизма. Сила магнитного поля земли достаточно велика, а его колебания хорошо заметны для физических приборов, что послужило толчком для изучения эмоциональных и функциональных сдвигов, возникающих под влиянием изменений геомагнитной обстановки. Многие СМИ даже сообщают читателям и слушателям о предстоящих всплесках геомагнитной активности, предлагая им принимать в такие дни профилактические меры неспецифического характера. До сих пор неизвестна точка приложения действия геомагнитных полей на человеческий организм, хотя гипотез и недостаточно обоснованных теорий этого воздействия огромное количество. Специальные измерения, проводившиеся на молодых здоровых людях (студентах), не подтверждают предположений о сильном влиянии геомагнитных полей на психику и вегетативные системы человека. В то же время практический опыт показывает, что дети и старики бывают гораздо более чувствительны к слабым воздействиям, чем люди работоспособного возраста. Вполне вероятно, что геомагнитные воздействия относятся как раз к такому разряду. Во всяком случае, опыт практических врачей-педиатров подтверждает, что дни, на которые прогнозируется резкое изменение геомагнитной ситуации, бывают наиболее напряженными в их практике: больше вызовов, более сложные случаи заболеваний и т.п. Защитить ребенка от воздействия геомагнитного поля Земли невозможно, однако помочь ему пережить наиболее неблагоприятные периоды без негативных последствий вполне реально, следует лишь проявлять в такие дни повышенное внимание к ребенку и больше считаться с его неосознанными потребностями: в таких ситуациях часто инстинктивное поведение оказывается более правильным, чем поведение, диктуемое разумом.

Химические факторы. Человек привык жить в условиях взаимодействия с огромным количеством разнообразных веществ, которые в совокупности составляют биогеохимическую среду его обитания. Среди этих веществ есть необходимые человеку (вода, кислород, питательные вещества и многое другое), нейтральные

(азот, многие минеральные вещества и т.п.), а также ядовитые, или токсичные. Поскольку для организма далеко не безразлично, с какими веществами ему приходится иметь дело, уже давно существуют гигиенические нормы предельно допустимых концентраций разнообразных веществ, встречающихся в воздухе, воде, пище, земле и других субстанциях, с которыми соприкасается человек в своей жизни и деятельности.

Состав атмосферного воздуха — важный фактор, влияющий на состояние и функциональную активность человека. В норме атмосферный воздух содержит 21 % кислорода, 78 % азота и около 1 % инертных газов и различных примесей, в том числе углекислый газ, выдыхаемый всеми животными. К таким концентрациям газов мы привыкли. Значительные изменения состава воздуха могут происходить при разного рода чрезвычайных ситуациях и катастрофах. Например, если горит лес или торф, на большой площади вокруг этой территории может резко возрасти содержание в воздухе угарного газа (окись углерода CO), который в отличие от углекислого газа (двуокись углерода CO₂) не стимулирует дыхание, а выводит из строя молекулы гемоглобина, которые переносят в организме животных и человека молекулы кислорода. Отравление угарным газом — одна из главных причин гибели людей на пожарах, а также при неправильном пользовании печью. К такому же результату может привести длительный прогрев автомобильного двигателя в закрытом гараже. Множество ядовитых веществ попадает в воздух в результате работы миллионов автомобильных двигателей и промышленных предприятий, поэтому воздух в крупных городах никак не может считаться безвредным. В лесной зоне воздух насыщен веществами, выделяемыми деревьями, в частности хвойные деревья вырабатывают летучие фитонциды, помогающие очищать воздух от болезнетворных микробов. Большой целебной силой обладает воздух соляных пещер и соляных пустынь: всем известна удивительная целебная сила окрестностей Мертвого моря, где воздух насыщен микроскопическими кристалликами минеральных солей. Морской воздух всегда имеет примесь йода и других испаряющихся веществ, что также влияет на состояние организма. Следует подчеркнуть, что детский организм значительно более чувствителен к изменениям химического состава воздуха, чем взрослый.

Состав воды — гораздо более изменчивый фактор, чем состав воздуха. Сами по себе молекулы воды, разумеется, всегда одинаковы (хотя, по современным данным, вода может находиться в 8 разных физических состояниях, каждое из которых определяет способность воды растворять другие вещества и влиять на их проницаемость через биологические мембраны), но состав и концентрация растворенных в воде веществ могут меняться в очень широких пределах. Морская вода — соленая, непригодная для питья,

причем ее состав в разных морях несколько различается. Речная и озерная вода — пресная, однако и в ней растворено некоторое количество солей. Вода, добываемая из артезианских скважин и колодцев, также весьма различна по своему составу. Все это может сильно влиять на обменные процессы в организме человека. Так, выше мы уже говорили, что в местностях, где в воде содержится мало йода, у людей наступает дисфункция щитовидной железы и развивается базедова болезнь — тяжелое нарушение обмена веществ, которое лечится путем добавления солей йода в пищевую рацион. Наличие в воде фтора положительно влияет на твердость зубной эмали, а если организм получает недостаточное количество фтора, зубы начинают крошиться и выпадать в очень раннем возрасте. Чтобы избежать этого, во многих странах теперь воду специально фторируют, одновременно дезинфицируя ее (в России воду, употребляемую в городах для приготовления пищи, для дезинфекции обычно хлорируют или озонируют). Вода — прекрасная среда для размножения множества разнообразных микроорганизмов, в том числе патогенных, т.е. способных вызвать у человека различные заболевания. Поэтому дезинфекция воды, которая используется человеком, — важнейшая забота санитарных служб. Дети бывают особенно чувствительны к болезнетворным микробам, поэтому для приготовления пищи и напитков для детей нужно использовать только кипяченую воду, особенно весной и летом, когда условия для размножения микробов благоприятны. Забота о качестве воды — неременное условие оздоровительного эффекта летнего отдыха детей в сельской местности (в летних лагерях, в походах и экспедициях, просто в деревне).

Состав и качество пищи во многом определяются составом воды и почвы окружающей местности. Химический состав пищи важен также для того, чтобы обеспечить организм всеми необходимыми питательными веществами: белками, жирами, углеводами, витаминами, микроэлементами и т.п. Микроэлементный состав почвы, на которой выращены растения, предназначенные для питания человека и домашних животных, — очень важный фактор, влияющий на гармоничность обменных процессов и нормальное протекание роста и развития ребенка. Более детально проблема качества и количества пищи для детей разного возраста будет обсуждена ниже.

Наличие токсичных веществ может сделать неприемлемым использование любого продукта. Токсичные (ядовитые) вещества могут при определенных условиях накапливаться в воздухе (испарения в зоне разломов земной коры, выхлопы автотранспорта, выбросы промышленных предприятий и т.п.) и воде (химические загрязнения вследствие технологических процессов, разложение органических веществ в стоячей воде и т.п.). При попадании в

организм растений и животных этих токсичных веществ возникает вероятность их попадания и в пищу человека, что может привести к сильному отравлению и даже к смерти. Большую осторожность следует проявлять при покупке ранних овощей и фруктов: многие из них выращены с использованием чрезмерных количеств удобрений, а избыток нитратных солей отрицательно сказывается на работе печени, желудочно-кишечного тракта и почек человека. Токсины оказываются в воде также благодаря деятельности некоторых микроорганизмов.

Биологические факторы. Будучи биологическим объектом, человек вольно или невольно непрерывно взаимодействует с огромным количеством живых существ, которые его окружают.

Внутривидовое и межвидовое взаимодействие. С одной стороны, человеку необходимо общаться с себе подобными, и такое общение обязательно влияет на состояние его организма, поскольку это общение вызывает изменения в работе нервной и гормональной систем регуляции. В данном случае речь не идет о социально-психологических аспектах (об этом будет сказано позже), здесь имеются в виду те инстинктивные, неосознаваемые человеком сугубо биологические реакции его организма, которые возникают под влиянием других людей либо сами влияют на окружающих. Так, каждый человек выделяет в окружающее его пространство целый букет разнообразных ароматических веществ, служащих для индивидуальной и половой идентификации. Слабость нашего обоняния (по сравнению с обонянием диких животных) не означает, что мы не улавливаем на подсознательном уровне подобных сигналов и что наша ЦНС не реагирует на них. Внешний вид и неосознаваемый ароматический портрет человека — основа так называемого «первого впечатления», которое, как известно, часто бывает наиболее интегральным и наиболее точным и определяет в дальнейшем характер взаимоотношений с данным человеком. Другой пример внутривидового взаимодействия — известное многим состояние напряжения при попадании в толпу. Даже если нет прямой угрозы жизни и здоровью, человек в толпе часто чувствует себя неудобно, его пугает обилие других человеческих тел, окружающих его, необходимость следовать непредсказуемой воле этого конгломерата. И в то же время быть членом такой группы, которая становится в некий момент «суперорганизмом», — один из самых притягательных соблазнов, инстинктивно переживаемых человеком. Именно по этой причине столь чувственным является, скажем, хоровое пение: каждый, кто участвует в хоре, в какой-то момент начинает ощущать себя частичкой этого суперорганизма, ощущает его власть над собой, и это ощущение вселяет ужас, но и доставляет сладость. Все это на грани физиологии и психологии, но нам важно подчеркнуть, что каждое подобное событие в жизни человека — глубокий стресс, развивающийся по

всем законам физиологии, с резкой активацией секреции эндокринных желез и вегетативных реакций.

С другой стороны, человек непрерывно взаимодействует с представителями других видов живых существ. Даже если с человеком не живут никакие домашние животные, помогающие ему снимать стресс и расслабляться, либо, напротив, обладающие стрессогенным эффектом (например, ежедневная дойка коровы представляет собой неизбежный и утомительный вид работы), контактов с представителями животного и растительного мира избежать невозможно.

Паразитная и сапрофитная микрофлора. В теле человека, на поверхности его кожи, а также на многочисленных предметах быта живет разнообразная микрофлора — мельчайшие одноклеточные микроорганизмы, бактерии и водоросли, грибы и лишайники. Те из них, которые питаются клетками тела человека и способны вызвать какие-либо заболевания, называются паразитами. Другие, которые питаются продуктами распада органических веществ, не нужных человеку, либо даже помогают человеческому организму в осуществлении некоторых физиологических процессов, называются сапрофитами.

К паразитическим микроорганизмам относятся все патогенные (вызывающие заболевания) бактерии, поселяющиеся на поверхности или внутри тела человека. Примеров таких бактерий огромное количество, мы непрерывно носим в себе миллионы их, но они не обязательно вызывают развитие болезней, поскольку система самозащиты (иммунитета) позволяет человеку противостоять подобной угрозе. Например, кожные покровы человека обладают антимикробным действием, поскольку кожные железы вырабатывают и выделяют на поверхность кожи ферменты, которые способствуют уничтожению многих бактерий. Именно благодаря этому человек заболевает не каждый раз после того, как поест, не помыв руки. Более того, слишком частое употребление сильных моющих средств нарушает структуру кожи и ее бактерицидное действие. Паразитические микроорганизмы могут быть не только бактериями, среди них встречается немало одноклеточных водорослей и особенно грибов. В отличие от бактерий, которые могут поселяться во многих внутренних органах, грибы чаще всего поражают кожу и ногти. Грибковые заболевания редко представляют смертельную опасность для человека, но иногда крайне трудно поддаются лечению. У грудных детей весьма обычным грибковым заболеванием полости рта является молочница, образующая белый налет на деснах и языке. С этим грибом справиться удастся легко: он уничтожается после трех-четырёхкратной обработки десен раствором соды. Аналогичные грибки нередко поселяются в половых органах взрослого человека, но в этих условиях борьба с ними бывает более длительной.

Если собственных иммунных сил организма для борьбы с патогенными микробами не хватает, приходится прибегать к помощи лекарственных препаратов. Наиболее сильные из них — антибиотики, которые первоначально были выделены из плесневых грибов, а теперь обычно синтезируются на фармацевтических фабриках. Употребление большого количества антибиотиков может приводить к развитию грибковой микрофлоры в кишечнике, что является тяжелым осложнением после инфекционных заболеваний. Для профилактики такого развития событий необходимо вместе с антибиотиками принимать противогрибковые препараты (например, нистатин).

Паразитические животные организмы. Не только бактерии и одноклеточные водоросли, но и некоторые одноклеточные животные (простейшие) могут стать причиной тяжелых заболеваний. Такие инфекции называются протозойными (от лат. *protozoa* — простейшие животные). Например, поселяясь в печени, амёбы лямблии вызывают тяжелую болезнь лямблиоз, которая по многим симптомам похожа на эпидемическую желтуху (болезнь Боткина), но еще труднее поддается лечению. Другие простейшие способны поселяться на слизистых, в том числе во влагалище и на пенисе, доставляя немало неприятностей.

Нам постоянно приходится иметь дело не только с одноклеточными, но и со множеством многоклеточных паразитических животных, использующих ткани человеческого организма в качестве своего дома и (или) своей пищи. Особенно много среди таких паразитов членистоногих — начиная от всем известных кровососущих насекомых (мух-жигалок, комаров, слепней, блох, вшей, клопов) и кончая клещами самых разных размеров. Все они питаются либо кровью, либо межклеточной жидкостью, которую высасывают из проколов в коже. О существовании некоторых из них на нашем теле мы даже не догадываемся, поскольку есть такие микроскопические клещи, которые поселяются в коже и совершенно безболезненно для человека проникают в ее глубокие слои, где и находят для себя кров и пищу. Такие клещи, в частности, способны вызвать чесотку.

Еще одна группа паразитов, часто вызывающих неприятные и опасные заболевания у человека, — глисты, т.е. плоские и круглые черви, паразитирующие в желудочно-кишечном тракте или других тканях человека. Глистные заболевания у детей — обычное явление; современные химические препараты позволяют быстро избавиться от аскарид и остриц — наиболее часто встречающихся видов глистов. Более опасны, но и реже встречаются поражения свиным или бычьим цепнем. Для профилактики этого заболевания необходимо тщательно готовить мясные блюда, хорошо проваривая или прожаривая мясо свиней и коров. Есть также глистные заболевания, передающиеся человеку через мясо рыбы и птицы.

Соблюдение гигиенических правил при приготовлении и употреблении пищи — важнейшая мера профилактики инвазий (поражений глистами).

Переносчики инфекционных болезней. Особая опасность некоторых кровососущих насекомых состоит в том, что они способны переносить на своих хоботках возбудителей самых тяжелых, порой смертельных инфекционных болезней. Так, вши передают возбудителей брюшного тифа, комары рода *Anopheles* — малярийного плазмодия (одноклеточное животное, паразитирующее в крови человека), а комары некоторых других родов — вирусы желтой лихорадки, японского энцефалита и других опасных болезней. Самый безобидный в этом ряду является постельный клоп: он не причастен к циркулированию возбудителей ни одной из инфекций. Есть паразиты, которые переносят одну-единственную конкретную инфекцию, причем возбудители этой инфекции проходят часть своего жизненного цикла в теле этих насекомых. Это относится, например, к возбудителю вирусного энцефалита, передаваемого клещами. То же самое можно сказать о малярийном комаре, о блохах, передающих возбудителей чумы и туляремии, а также об африканской мухе це-це, которая передает вирус смертельной сонной болезни.

Природные очаги инфекций и инвазий. Есть инфекционные заболевания, характерные только для человека. А есть такие, которыми болеют и животные, живущие в дикой природе, и человек. Вот эти инфекции могут существовать в некоторых природных условиях независимо от того, живет ли там человек, зато если человек попадает в такую область, то почти неминуемо заболевает. Такие зоны называются природными очагами инфекций, и погасить подобный очаг часто бывает невозможно. Например, чумой болеют многие степные и пустынные грызуны — песчанки, тушканчики, суслики, сурки и другие. В тех местах, где они живут, нередко сотни и тысячи лет существуют природные очаги чумы. Если поблизости поселяется человек, то он может даже незаметно для себя вступить в контакт с этими грызунами либо получить возбудителя чумы через блоху, которая сначала укусила чумного зверька, а потом попала на тело человека. К природно-очаговым инфекциям относятся также сибирский (клещевой) энцефалит, желтая лихорадка, туляремия, сибирская язва, малярия, геморрагические лихорадки и другие особо опасные инфекции.

Для профилактики таких инфекций необходимо делать прививки, которые предотвращают возможность развития патогенных микробов в теле человека, даже если он был укушен паразитирующим насекомым или клещом. Особенно опасны подобные болезни для пришлого населения — местные жители часто имеют уже стойкий иммунитет ко многим таким инфекциям, поскольку сталкиваются с ними на протяжении жизни многих поколений.

Детские болезни — форма адаптации организма. Следует подчеркнуть, что дети страдают от инфекций гораздо чаще, чем взрослые. Это связано с тем, что большое число инфекционных заболеваний вызывает стойкий пожизненный иммунитет, т.е. повторная встреча с патогенным микроорганизмом уже не способна привести к заболеванию, так как в организме выработаны соответствующие меры защиты. Однако исключить столкновение ребенка с микробами невозможно, да и не нужно. Так называемые детские инфекционные болезни (корь, скарлатина, ветряная оспа, свинка, краснуха и т.п.) — естественная форма адаптации детского организма к жизни в мире, где возбудители этих инфекций постоянно циркулируют. Это своего рода тренировка для иммунной системы ребенка. Разумеется, эти болезни необходимо правильно лечить и по возможности исключать развитие осложнений, которые, собственно, представляют наибольшую опасность. С возрастом вероятности заболевания многими инфекциями уменьшается, однако к старости иммунитет вновь снижается, и старики часто заболевают, заражаясь от детей.

Социальные факторы. К социальным факторам среды, влияющим на протекание физиологических процессов в организме, относится прежде всего образ жизни человека, сложившийся в результате взаимодействия некоторых психологических, биологических и социальных условий его жизни. В частности, на физическое и функциональное состояние как взрослых, так и (особенно) детей влияет уровень материального достатка, поскольку от него зависит качество и количество потребляемой пищи, доступность разнообразных гигиенических процедур, степень комфортабельности жилища и мест отдыха, способ и качество проведения свободного времени, уровень оздоровительной двигательной активности и т.д. В этом отношении первейшую роль играют семья и ближайшее окружение, причем это особенно важно для детей и подростков, которым порой приходится активно включаться в производственные дела, особенно в сельской местности. Множество обстоятельств семейной жизни составляют тот фон, на котором разворачиваются все физиологические процессы в организме. Режим дня, питания, соблюдение гигиенических правил, условия быта, место проживания и многое другое оказывают самое прямое влияние на каждого человека независимо от его возраста и рода занятий.

Явления мировой культуры, в частности мировые религии, музыка и другие виды искусства, — все это так или иначе влияет на современного человека, формируя его вкусы и пристрастия и тем самым определяя образ его жизни. В конечном счете мировая культура также является одним из факторов окружающей человека среды, в которой он должен чувствовать себя комфортно, если этого нет, то, значит, адаптация не совершилась, и это обстоя-

тельство уже само по себе способно привести к самым неприятным для здоровья последствиям.

Вопросы и задания

1. Как получает плод питательные вещества и кислород в процессе внутриутробного развития?
2. Что испытывает новорожденный?
3. Какие физические факторы воздействуют на человека?
4. Каковы химические факторы, воздействующие на человека?
5. Расскажите, с какими биологическими объектами сталкивается человек в своей жизни.
6. Какие социальные факторы оказывают сильное влияние на ребенка?

Глава 6. ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА ОРГАНИЗМА

Внутренняя среда организма — это кровь, лимфа и жидкость, заполняющая промежутки между клетками и тканями. Кровеносные и лимфатические сосуды, пронизывающие все органы человека, имеют в своих стенках мельчайшие поры, через которые могут проникать даже некоторые клетки крови. Вода, составляющая основу всех жидкостей в организме, вместе с растворенными в ней органическими и неорганическими веществами легко проходит через стенки сосудов. Вследствие этого химический состав *плазмы* крови (то есть жидкой части крови, не содержащей клеток), *лимфы* и *тканевой жидкости* во многом одинаков. С возрастом существенных изменений химического состава этих жидкостей не происходит. В то же время различия в составе указанных жидкостей могут быть связаны с деятельностью тех органов, в которых эти жидкости находятся.

Кровь

Состав крови. *Кровь* — это красная непрозрачная жидкость, состоящая из двух фракций — жидкой, или *плазмы*, и твердой, или клеток — *форменных элементов* крови. Разделить кровь на эти две фракции довольно легко с помощью центрифуги: клетки тяжелее плазмы и в центрифужной пробирке они собираются на дне в виде красного сгустка, а над ним остается слой прозрачной и почти бесцветной жидкости. Это и есть плазма.

Плазма. В организме взрослого человека содержится около 3 л плазмы. У взрослого здорового человека плазма составляет свыше половины (55 %) объема крови, у детей — несколько меньше.

Более 90 % состава плазмы — *вода*, остальное — растворенные в ней *неорганические соли*, а также *органические вещества*: углеводы, карбоновые, жирные кислоты и аминокислоты, глицерин, растворимые белки и полипептиды, мочевины и т.п. Все вместе они определяют *осмотическое давление* крови, которое в организме поддерживается на постоянном уровне, чтобы не причинить вреда клеткам самой крови, а также всем остальным клеткам организма: увеличенное осмотическое давление приводит к сжиганию клеток, а при пониженном осмотическом давлении они разбухают. В обоих случаях клетки могут погибнуть. Поэтому для введения разнообразных лекарств в организм и для переливания замещающих кровь жидкостей в случае большой кровопотери, используют специальные растворы, имеющие точно такое же осмотическое давление, как и кровь (изотонические). Такие растворы называются *физиологическими*. Простейшим по составу физиологическим раствором является 0,1 % раствор поваренной соли NaCl (1 г соли на литр воды). Плазма участвует в осуществлении транспортной функции крови (переносит растворенные в ней вещества), а также защитной функции, поскольку некоторые белки, растворенные в плазме, обладают противомикробным действием.

Клетки крови. В крови встречаются клетки трех основных типов: красные кровяные клетки, или *эритроциты*; белые кровяные клетки, или *лейкоциты*; кровяные пластинки, или *тромбоциты*. Клетки каждого из этих типов выполняют определенные физиологические функции, а все вместе они определяют физиологические свойства крови. Все клетки крови — короткоживущие (средний срок жизни от 2 недель до года), поэтому в течение всей жизни специальные *кроветворные органы* занимаются производством все новых и новых клеток крови. Кроветворение происходит в печени, селезенке и костном мозге, а также в лимфатических железах.

Эритроциты (рис. 11) — это безъядерные дисковидные клетки, лишенные митохондрий и некоторых других органелл и приспособленные для одной *главной функции* — быть переносчиками кислорода. Красный цвет эритроцитов определяется тем, что они несут в себе белок гемоглобин (рис. 12), в котором функциональный центр, так называемый *гем*, содержит атом железа в форме двухвалентного иона. Гем способен химически соединиться с молекулой кислорода (образующееся вещество называется *оксигемоглобином*) в том случае, если парциальное давление кислорода велико. Эта связь непрочная и легко разрушается, если парциальное давление кислорода падает. Именно на этом свойстве и основана способность эритроцитов переносить кислород. Попадая в легкие, кровь в легочных пузырьках оказывается в условиях повышенного напряжения кислорода, и гемоглобин активно захватывает атомы этого плохо растворимого в воде газа. Но как только кровь попада-

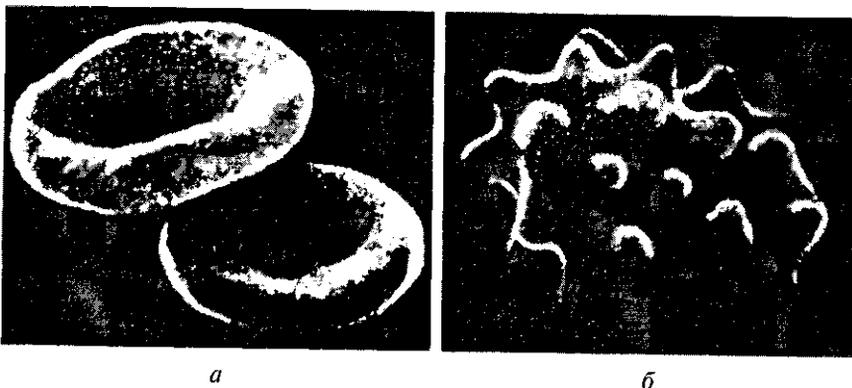


Рис. 11. Эритроциты:

a - нормальные эритроциты в форме двояковогнутого диска; *б* — сморщенные эритроциты в гипертоническом солевом растворе

ет в работающие ткани, которые активно используют кислород, оксигемоглобин легко отдает его, подчиняясь «кислородному запросу» тканей. Во время активного функционирования ткани вырабатывают углекислый газ и другие кислые продукты, которые выходят через клеточные стенки в кровь. Это в еще большей степени стимулирует оксигемоглобин отдавать кислород, поскольку химическая связь гема и кислорода очень чувствительна к кислотности среды. Взамен гем присоединяет к себе молекулу CO_2 , унося ее к легким, где эта химическая связь также разрушается, CO_2 выносится с током выдыхаемого воздуха наружу, а гемоглобин освобождается и вновь готов присоединять к себе кислород.

Если во вдыхаемом воздухе оказывается угарный газ CO , то он вступает с гемоглобином крови в химическое взаимодействие, в

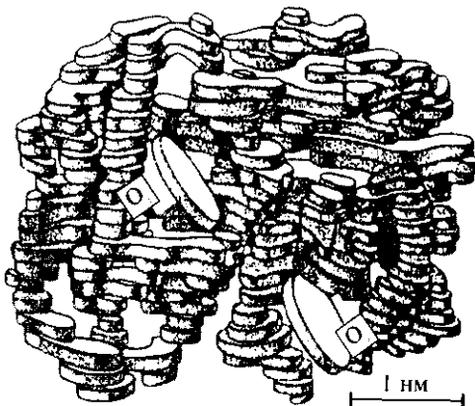


Рис. 12. Пространственная модель молекулы гемоглобина

результате которого образуется прочное вещество *метоксигемоглобин*, не распадающееся в легких. Тем самым гемоглобин крови выводится из процесса переноса кислорода, ткани не получают нужного количества кислорода, и человек ощущает удушье. В этом заключается механизм отравления человека на пожаре. Сходное действие оказывают некоторые другие мгновенные яды, которые также выводят из строя моле-

кулы гемоглобина, например синильная кислота и ее соли (цианиды).

В каждых 100 мл крови содержится около 12 г гемоглобина. Каждая молекула гемоглобина способна «тащить» на себе 4 атома кислорода. В крови взрослого человека содержится огромное количество эритроцитов — до 5 миллионов в одном миллилитре. У новорожденных детей их еще больше — до 7 миллионов, соответственно больше и гемоглобина. Если человек долгое время живет в условиях недостатка кислорода (например, высоко в горах), то количество эритроцитов в его крови еще более увеличивается. По мере взросления организма количество эритроцитов волнообразно изменяется, но в целом у детей их несколько больше, чем у взрослых. Снижение количества эритроцитов и гемоглобина в крови ниже нормы свидетельствует о тяжелом заболевании — *анемии* (малокровии). Одной из причин анемии может быть недостаток железа в пище. Железом богаты такие продукты, как говяжья печень, яблоки и некоторые другие. В случаях длительной анемии необходимо принимать лекарственные препараты, содержащие соли железа.

Наряду с определением уровня гемоглобина в крови к наиболее распространенным клиническим анализам крови относится измерение скорости оседания эритроцитов (СОЭ), или реакции оседания эритроцитов (РОЭ), — это два равноправных названия одного и того же теста. Если предотвратить свертывание крови и оставить ее в пробирке или капилляре на несколько часов, то без механического встряхивания тяжелые эритроциты начнут осаждаться. Скорость этого процесса у взрослых составляет от 1 до 15 мм/ч. Если этот показатель существенно выше нормы, это свидетельствует о наличии заболевания, чаще всего воспалительного. У новорожденных СОЭ составляет 1–2 мм/ч. К 3-летнему возрасту СОЭ начинает колебаться — от 2 до 17 мм/ч. В период от 7 до 12 лет СОЭ обычно не превышает 12 мм/ч.

Лейкоциты — белые кровяные клетки. Они не содержат гемоглобина, поэтому не имеют красной окраски. Главная функция лейкоцитов — защита организма от проникших внутрь него болезнетворных микроорганизмов и ядовитых веществ. Лейкоциты способны передвигаться с помощью псевдоподий, как амёбы. Так они могут выходить из кровеносных капилляров и лимфатических сосудов, в которых их также очень много, и передвигаться в сторону скопления патогенных микробов. Там они пожирают микробы, осуществляя так называемый *фагоцитоз*.

Существует множество типов лейкоцитов, но наиболее типичными являются *лимфоциты*, *моноциты* и *нейтрофилы*. Более всего активны в процессах фагоцитоза нейтрофилы, которые образуются, как и эритроциты, в красном костном мозге. Каждый нейтрофил может поглотить 20–30 микробов. Если в организм вторгает-

ся крупное инородное тело (например, заноза), то множество нейтрофилов облепляют его, формируя своеобразный барьер. Моноциты — клетки, образующиеся в селезенке и печени, также участвуют в процессах фагоцитоза. Лимфоциты, которые образуются главным образом в лимфатических узлах, не способны к фагоцитозу, но активно участвуют в других иммунных реакциях.

В 1 мл крови содержится в норме от 4 до 9 тысяч лейкоцитов. Соотношение между числом лимфоцитов, моноцитов и нейтрофилов называется *формулой крови*. Если человек заболевает, то общее число лейкоцитов резко увеличивается, меняется также и формула крови. По ее изменению врачи могут определить, с каким видом микроба борется организм.

У новорожденного ребенка количество белых клеток крови значительно (в 2—5 раз) больше, чем у взрослого, но уже через несколько дней оно снижается до уровня 10—12 тысяч на 1 мл. Начиная со 2-го года жизни эта величина продолжает снижаться и достигает типичных для взрослого величин после полового созревания. У детей очень активно идут процессы образования новых клеток крови, поэтому среди лейкоцитов крови у детей значительно больше молодых клеток, чем у взрослых. Молодые клетки отличаются по своему строению и функциональной активности от зрелых. После 15—16 лет формула крови приобретает свойственные взрослым параметры.

Содержание и активность лейкоцитов определяют возможность клеточного иммунитета. Более подробно это описано на с. 100—103.

Тромбоциты — самые мелкие форменные элементы крови, количество которых достигает 200—400 миллионов в 1 мл. Мышечная работа и другие виды стресса способны в несколько раз увеличить число тромбоцитов в крови (в этом, в частности, заключена опасность стрессов для пожилых людей: ведь именно от тромбоцитов зависит свертываемость крови, в том числе образование тромбов и закупорка мелких сосудов головного мозга и сердечной мышцы). Место образования тромбоцитов — красный костный мозг и селезенка. Основная их функция — обеспечение свертывания крови. Без этой функции организм становится уязвимым при малейшем ранении, причем опасность заключается не только в том, что теряется значительное количество крови, но и в том, что любая открытая рана — это ворота для инфекции.

Если человек поранился, даже неглубоко, то при этом повредились капилляры, и тромбоциты вместе с кровью оказались на поверхности. Здесь на них действуют два важнейших фактора — низкая температура (гораздо ниже, чем 37 °С внутри тела) и обилие кислорода. Оба эти фактора приводят к разрушению тромбоцитов, и из них выделяются в плазму вещества, которые необходимы для формирования кровяного сгустка — *тромба*. Для того

чтобы образовался тромб, кровь надо остановить, пережав крупный сосуд, если из него сильно льется кровь, поскольку даже начавшийся процесс образования тромба не пройдет до конца, если в ранку будут все время поступать новые и новые порции крови с высокой температурой и еще не разрушившимися тромбоцитами.

Чтобы кровь не свертывалась внутри сосудов, в ней присутствуют специальные противосвертывающие вещества — гепарин и др. Пока сосуды не повреждены, между веществами, стимулирующими и тормозящими свертывание, наблюдается баланс. Повреждение сосудов ведет к нарушению этого баланса. В старости и с увеличением заболеваний этот баланс у человека также нарушается, что увеличивает риск свертывания крови в мелких сосудах и образования опасного для жизни тромба.

Возрастные изменения функции тромбоцитов и свертывания крови были детально изучены А.А. Маркосяном, одним из основоположников возрастной физиологии в России. Было установлено, что у детей свертывание протекает медленнее, чем у взрослых, а образующийся сгусток имеет более рыхлую структуру. Эти исследования привели к формированию концепции биологической надежности и ее повышения в онтогенезе.

Тканевая жидкость и лимфа

Проходя через мельчайшие артериальные капилляры внутри тканей под значительным давлением, кровь фильтруется стенками капилляров, и ее жидкая фракция выходит в межклеточное пространство. Так образуется тканевая жидкость. Если давление в кровеносных сосудах какого-либо органа оказывается избыточным, то там могут образовываться скопления тканевой жидкости (отеки). Венозные капилляры, давление крови в которых незначительно, наоборот, всасывают жидкость из окружающего межклеточного пространства. Между кровью, находящейся в капиллярах, тканевой жидкостью и лимфой происходит непрерывный обмен жидкостями и растворенными в ней веществами, а также устанавливается динамическое равновесие.

Лимфа образуется из *тканевой жидкости*, за сутки ее вырабатывается у взрослого человека около 2 л. В лимфе содержится белок в количестве 20 г/л, что примерно в 10 раз меньше, чем в крови. Лимфа циркулирует по специальным *лимфатическим сосудам*. Для ее циркуляции в стенках некоторых лимфатических сосудов есть гладкомышечные клетки, которые ритмически сокращаются и толкают лимфу в определенном направлении. Важнейшим двигателем для лимфы являются сокращения скелетных мышц, при этом скорость движения лимфы при физической работе может в 15 раз

превышать аналогичный показатель у находящегося в покое человека. В целом скорость движения лимфы сравнительно мала.

Лимфатическая система, не имеющая в отличие от кровеносной центральной «насоса» — сердца, устроена по другому принципу: лимфатические сосуды не представляют собой замкнутой системы, а в некоторых зонах сходятся в большом количестве и образуют *лимфатические узлы*. Воспалительные процессы в организме часто ведут к увеличению близлежащих к очагу воспаления лимфатических узлов, так как именно там проходит последняя стадия созревания Т-лимфоцитов, необходимых для борьбы с микробами.

Основная функция лимфатической системы — удаление из тканей избытка воды и тех веществ, которые там не используются клетками. Кроме того, лимфа транспортирует всосавшиеся в кишечнике питательные вещества, в частности жиры. Еще одна функция лимфы связана с активностью белых клеток крови (лимфоцитов), которые по лимфатическим сосудам разносятся ко всем клеткам тела и к местам проникновения в организм болезнетворных микробов.

Важную роль в иммунных реакциях, особенно в детском возрасте, играют так называемые *лимфатические железы*, разбросанные по всему организму. К ним относятся тимус (вилочковая железа), миндалины (гланды), аденоиды, аппендикс и целый ряд других. Большинство лимфатических желез, как и лимфоидная ткань в целом, по мере взросления и формирования специфического иммунитета утрачивают свое значение и уменьшаются в размерах, частично заменяясь соединительной тканью.

Реакция системы крови на учебную и физическую нагрузку

Физическое и психическое напряжение организма приводит к существенным изменениям состава крови и некоторых ее функциональных свойств. Все эти изменения носят адаптивный характер, однако в случаях перенапряжения они могут отражать патологические процессы, являющиеся следствием срыва адаптации.

Учебная нагрузка. Белая кровь. Под влиянием обычной для школы учебной нагрузки у детей наблюдается относительный лейкоцитоз, то есть увеличение числа лейкоцитов в среднем на 24 %. При этом степень их зрелости практически не меняется. По-видимому, это характеризует готовность организма столкнуться с микробной агрессией извне и с накоплением в крови продуктов распада клеток собственного тела под влиянием утомления.

Вязкость крови и скорость оседания эритроцитов. Вязкость крови после учебной нагрузки обычно становится выше, чем до нее.

В то же время она может и снизиться, если исходные величины были высоки. Величина СОЭ сразу после уроков у большинства детей младших классов увеличивается, хотя около 30 % детей не проявляют подобной реакции. Если же исходная величина СОЭ была повышена, то под влиянием учебной нагрузки она может снизиться.

Свертывание крови. Учебная нагрузка стимулирует заметное ускорение свертывания крови, по крайней мере у детей младшего школьного возраста (до 11 лет). С наступлением полового созревания разброс индивидуальных характеристик становится столь велик, что оценить влияние учебной нагрузки достаточно сложно.

Физическая нагрузка. *Белая кровь.* Реакция белой крови на физическую нагрузку зависит от ее мощности (интенсивности) и продолжительности. В целом она характеризуется увеличением числа лейкоцитов в крови, однако степень зрелости клеток и преобладающая их разновидность при этом зависят от параметров нагрузки и возраста ребенка. Чем дольше выполняется нагрузка, тем сильнее выражен *лейкоцитоз*. Нормализация состава крови наблюдается только через сутки после напряженной и длительной мышечной работы (бег на длинную дистанцию, велосипедные гонки и т.п.). Одновременно активируются процессы разрушения лейкоцитов, которые остаются повышенными в течение 3 ч после нагрузки.

Красная кровь. После нагрузки количество эритроцитов в крови всегда изменяется, но характер этих изменений опять же зависит от интенсивности и продолжительности нагрузки. Если нагрузка кратковременная — отмечается небольшое увеличение (8—10 %) числа эритроцитов, которые в этом случае выходят из депо (селезенка). Если нагрузка длительная и напряженная — число эритроцитов может снизиться, т.е. часть эритроцитов подвергается разрушению, причем после прекращения нагрузки этот процесс продолжается. Одновременно активируются процессы образования эритроцитов в костном мозге, и в крови появляется большое количество молодых форм. Таким образом, после значительной физической нагрузки кровь как бы «обновляется». Кратковременная нагрузка такого эффекта не дает. У детей эти изменения в крови выражены намного более отчетливо, чем у взрослых.

Вязкость крови и скорость оседания эритроцитов. Непродолжительная или неинтенсивная нагрузка не влияет на вязкость крови, тогда как длительная напряженная работа приводит к ее увеличению, которое длится до 2 сут. У взрослых аналогичная работа может и не приводить к увеличению вязкости.

Под влиянием кратковременной нагрузки СОЭ может у одних детей ускоряться, у других замедляться. Однако длительная нагрузка высокой мощности всегда приводит к увеличению СОЭ, которая может оставаться повышенной в течение 24 ч после на-

грузки. У взрослых величина СОЭ возвращается к исходному уровню быстрее, чем у юношей и девушек.

Свертывание крови. Мышечная работа вызывает четко выраженный *тромбоцитоз*, который в этом случае называют *миогенным*. Эта реакция организма протекает в две фазы: сначала увеличивается число тромбоцитов в крови, а затем изменяется их состав. У взрослых обычно мышечная нагрузка не приводит к проявлению второй фазы, тогда как организм детей и подростков реагирует на нагрузку более бурно и миогенный тромбоцитоз быстро проходит первую, а затем и вторую фазу. Это обуславливает существенное увеличение скорости свертывания крови. Адаптивный смысл такой реакции вполне очевиден: организм как бы подготавливает себя к возможному повреждению покровных тканей и сосудов в процессе напряженной мышечной деятельности, заранее активируя разнообразные системы защиты.

Гомеостаз

Гомеостаз, гомеорез, гомеоморфоз — характеристики состояния организма. Системная сущность организма проявляется в первую очередь в его способности к саморегуляции в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды. Поскольку все органы и ткани организма состоят из клеток, каждая из которых является относительно самостоятельным организмом, состояние внутренней среды человеческого организма имеет огромное значение для его нормального функционирования. Для организма человека — сухопутного существа — окружающую среду составляют атмосфера и биосфера, при этом он в определенной мере взаимодействует с литосферой, гидросферой и ноосферой. В то же время большинство клеток человеческого тела погружено в жидкую среду, которая представлена кровью, лимфой и межклеточной жидкостью. Лишь покровные ткани непосредственно взаимодействуют с окружающей человека средой, все остальные клетки изолированы от внешнего мира, что позволяет организму в значительной мере стандартизировать условия их существования. В частности, способность поддерживать постоянную температуру тела около 37 °С обеспечивает стабильность метаболических процессов, поскольку все биохимические реакции, которые составляют сущность метаболизма, очень сильно зависят от температуры. Не менее важно поддерживать в жидких средах организма неизменное напряжение кислорода, углекислого газа, концентрацию разнообразных ионов и т.п. В обычных условиях существования, в том числе при адаптации и деятельности, возникают небольшие отклонения такого рода параметров, но они быстро устраняются, внутренняя среда организма возвращается к стабильной норме. Великий французский

физиолог XX в. Клод Бернар утверждал: «Постоянство внутренней среды является обязательным условием свободной жизни». Физиологические механизмы, обеспечивающие поддержание постоянства внутренней среды, называются гомеостатическими, а само явление, отражающее способность организма к саморегуляции внутренней среды, называется *гомеостазом*. Этот термин был введен в 1932 г. У. Кэнноном — одним из тех физиологов XX в., который наряду с Н.А. Бернштейном, П.К.Анохиным и Н.Винером стоял у истоков науки об управлении — кибернетики. Термин «гомеостаз» используется не только в физиологических, но и в кибернетических исследованиях, поскольку именно поддержание постоянства каких-либо характеристик сложноорганизованной системы и является главной целью любого управления.

Другой замечательный исследователь, К.Уоддингтон, обратил внимание на то, что организм способен сохранять не только стабильность своего внутреннего состояния, но и относительное постоянство динамических характеристик, т.е. протекания процессов во времени. Это явление по аналогии с гомеостазом было названо *гомеорезом*. Оно имеет особое значение для растущего и развивающегося организма и состоит в том, что организм способен сохранять (в определенных пределах, разумеется) «канал развития» в ходе своих динамических преобразований. В частности, если ребенок из-за болезни или резкого ухудшения условий жизни, вызванных социальными причинами (война, землетрясение и т.п.), существенно отстает от своих нормально развивающихся сверстников, то это еще не означает, что такое отставание фатально и необратимо. Если период неблагоприятных событий заканчивается и ребенок получает адекватные для развития условия, то как по росту, так и по уровню функционального развития он вскоре догоняет сверстников и в дальнейшем ничем существенно от них не отличается. Этим объясняется то обстоятельство, что перенесшие в раннем возрасте тяжелую болезнь дети нередко вырастают в здоровых и пропорционально сложенных взрослых. Гомеорез играет важнейшую роль как в управлении онтогенетическим развитием, так и в процессах адаптации. Между тем физиологические механизмы гомеореза пока недостаточно изучены.

Третьей формой саморегуляции постоянства организма является *гомеоморфоз* — способность поддерживать неизменность формы. Эта характеристика в большей мере присуща взрослому организму, поскольку рост и развитие несовместимы с неизменностью формы. Тем не менее если рассматривать короткие отрезки времени, особенно в периоды торможения роста, то и у детей можно обнаружить способность к гомеоморфозу. Речь идет о том, что в организме непрерывно происходит смена поколений составляющих его клеток. Клетки долго не живут (исключение составляют только нервные клетки): обычный срок жизни клеток тела со-

ставляет недели или месяцы. Тем не менее каждое новое поколение клеток почти в точности повторяет форму, размеры, расположение и соответственно функциональные свойства предыдущего поколения. Специальные физиологические механизмы препятствуют значительным изменениям массы тела в условиях голодания или переизбытка. В частности, при голодании резко повышается усвояемость пищевых веществ, а при переизбытке, напротив, большая часть поступающих с пищей белков, жиров и углеводов «сжигается» без всякой пользы для организма. Доказано (Н.А.Смирнова), что у взрослого человека резкие и значительные изменения массы тела (главным образом за счет количества жира) в любую сторону являются верными признаками срыва адаптации, перенапряжения и свидетельствуют о функциональном неблагополучии организма. Детский организм становится особенно чувствителен к внешним воздействиям в периоды наиболее бурного роста. Нарушение гомеоморфоза — такой же неблагоприятный признак, как нарушения гомеостаза и гомеореза.

Понятие о биологических константах. Организм представляет собой комплекс огромного количества самых разнообразных веществ. В процессе жизнедеятельности клеток организма концентрация этих веществ может существенно меняться, что означает изменение внутренней среды. Было бы невыносимо, если бы управляющие системы организма вынуждены были следить за концентрацией всех этих веществ, т.е. иметь множество датчиков (рецепторов), непрерывно анализировать текущее состояние, принимать управляющие решения и контролировать их эффективность. Ни информационных, ни энергетических ресурсов организма не хватило бы на такой режим управления всеми параметрами. Поэтому организм ограничивается слежением за сравнительно небольшим числом наиболее значимых показателей, которые необходимо поддерживать на относительно постоянном уровне ради благополучия абсолютного большинства клеток тела. Эти наиболее жестко гомеостазуемые параметры тем самым превращаются в «биологические константы», а их неизменность обеспечивается за счет иногда достаточно значительных колебаний других параметров, не относящихся к разряду гомеостазуемых. Так, уровни гормонов, участвующих в регуляции гомеостаза, могут меняться в крови в десятки раз в зависимости от состояния внутренней среды и воздействия внешних факторов. В это же время гомеостазуемые параметры изменяются лишь на 10—20 %.

Важнейшие биологические константы. Среди наиболее важных биологических констант, за поддержание которых на сравнительно неизменном уровне ответственны различные физиологические системы организма, следует назвать *температуру тела, уровень глюкозы в крови, содержание ионов H^+ в жидких средах организма, парциальное напряжение кислорода и углекислоты в тканях.*

Болезнь как признаки и следствие нарушений гомеостаза. Практически все болезни человека связаны с нарушением гомеостаза. Так, например, при многих инфекционных заболеваниях, а также в случае воспалительных процессов, в организме резко нарушается температурный гомеостаз: возникает лихорадка (повышение температуры), иногда опасная для жизни. Причина такого нарушения гомеостаза может заключаться как в особенностях нейроэндокринной реакции, так и в нарушениях деятельности периферических тканей. В этом случае проявление болезни — повышенная температура — представляет собой следствие нарушения гомеостаза.

Обычно лихорадочные состояния сопровождаются ацидозом — нарушением кислотно-щелочного равновесия и сдвигом реакции жидких сред организма в кислую сторону. Ацидоз характерен также для всех заболеваний, связанных с ухудшением работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем (заболевания сердца и сосудов, воспалительные и аллергические поражения бронхолегочной системы и т.п.). Нередко ацидоз сопровождает первые часы жизни новорожденного, особенно если у него не сразу после появления на свет началось нормальное дыхание. Для устранения этого состояния новорожденного помещают в специальную камеру с повышенным содержанием кислорода. Метаболический ацидоз при тяжелой мышечной нагрузке может наблюдаться у людей любого возраста и проявляется в одышке и повышенном потоотделении, а также болезненных ощущениях в мышцах. После завершения работы состояние ацидоза может сохраняться от нескольких минут до 2—3 сут, в зависимости от степени утомления, тренированности и эффективности работы гомеостатических механизмов.

Весьма опасны болезни, приводящие к нарушению водно-солевого гомеостаза, например холера, при которой из организма удаляется огромное количество воды и ткани утрачивают свои функциональные свойства. К нарушению водно-солевого гомеостаза ведут также многие заболевания почек. В результате некоторых из этих заболеваний может развиваться алкалоз — чрезмерное повышение концентрации щелочных веществ в крови и увеличение рН (сдвиг в щелочную сторону).

В некоторых случаях незначительные, но длительные нарушения гомеостаза могут стать причиной развития тех или иных заболеваний. Так, есть данные, что неумеренное употребление в пищу сахара и других источников углеводов, нарушающих гомеостаз глюкозы, ведет к поражению поджелудочной железы, в результате человек заболевает диабетом. Также опасно чрезмерное употребление поваренной и других минеральных солей, острых приправ и т.п., увеличивающих нагрузку на выделительную систему. Почки могут не справиться с обилием веществ, которые необходимо удалить из организма, в результате чего наступит нарушение водно-

солевого гомеостаза. Одним из его проявлений являются отеки — скопление жидкости в мягких тканях организма. Причина отеков обычно лежит либо в недостаточности сердечно-сосудистой системы, либо в нарушениях работы почек и, как следствие, минерального обмена.

Иммунная система организма

Еще одним важнейшим свойством внутренней среды многоклеточного организма является его способность защищаться от проникновения чужеродных клеток, частиц и молекул. Эта способность называется иммунитетом (от лат. слова *immunis* — свободный).

В организме человека параллельно работают три иммунные системы, различающиеся своими возможностями и механизмом действия.

Наиболее мощной и эффективной является *специфическая иммунная система*. Если в организм проникает чужеродная клетка или молекула (антиген), то клетки, относящиеся к специфической иммунной системе, начинают вырабатывать специальные вещества (антитела), которые соединяются с антигенами, образуя химический комплекс, и нейтрализуют их вредное влияние на организм. Особенностью этой иммунной системы является то, что она не единая для всех видов возбудителей болезней, а для каждого своя (*специфическая*), и для ее возникновения необходимо первоначальное взаимодействие организма с чужеродным фактором. Таким образом, формирование специфической иммунной системы представляет собой *приобретенный иммунитет*. Приобрести иммунитет человек может в двух случаях: естественным путем, столкнувшись с новым для него возбудителем болезни и переболев ею, а также искусственным путем — в результате прививки. Поэтому специфический, или приобретенный, иммунитет подразделяют на естественный и искусственный. Перенесенные в детстве болезни, такие как корь, свинка, скарлатина, ветрянка и другие «детские инфекции», не повторяются в дальнейшем именно благодаря действию этой иммунной системы.

Кроме того, организм человека обладает двумя формами *врожденного*, или *неспецифического иммунитета* — *гуморальной и клеточной*.

Специфические защитные механизмы. Основную роль в специфическом иммунном ответе организма выполняют белые кровяные клетки — лимфоциты, которые подразделяются на 2 типа: В-лимфоциты, которые приобретают свои иммунные свойства в костном мозге, и Т-лимфоциты, превращающиеся в активные иммунные тела в тимусе (вилочковой железе). Лимфоциты обоих типов способны сохранять иммунную память, что и обуславлива-

ет их эффективность в борьбе с новым вторжением уже известного организму патогенного агента.

В-лимфоциты ответственны за *гуморальный* иммунный ответ. Они составляют примерно 15% от общего числа лимфоцитов крови. На поверхностной мембране этих клеток располагаются специфические белки — иммуноглобулины, которые и обуславливают их защитные свойства. Однако для того чтобы эти защитные свойства проявились, необходимо совместное участие в иммунных реакциях В- и Т-лимфоцитов. В-лимфоциты способны уничтожать не только возбудителей болезней, но и собственные клетки организма, в которых произошло опухолевое перерождение и которые стали синтезировать чуждый организму белок. Образованные В-лимфоцитами антитела называют также иммуноглобулинами, поскольку химически они представляют собой молекулы белков-глобулинов, к которым прикреплены специфические участки, предназначенные для связывания с конкретными антигенами. В организме человека встречается 5 видов иммуноглобулинов, самый распространенный из них — IgG, или гамма-глобулин.

К Т-лимфоцитам относится 70—80 % всех лимфоцитов крови, и они ответственны за *клеточный* иммунный ответ. Существует довольно большое разнообразие этих клеток, одни из которых участвуют в активации В-лимфоцитов; другие уничтожают клетки, несущие антиген; третьи тормозят активность своих собратьев, чтобы иммунные реакции не нанесли вреда тканям собственного организма; четвертые хранят в себе память о предыдущих вторжениях в организм инородных агентов.

Неспецифические гуморальные защитные механизмы. Для того чтобы уничтожить чужеродную клетку, на нее должны подействовать антитела. Однако их действие будет неэффективным, если в этом процессе не будут участвовать 9 веществ, растворенных в плазме крови, которые все вместе называются *комплементом*. Одни из них нейтрализуют вирусы, другие — воспалительные реакции, растворяют мембраны болезнетворных бактерий и т.п., но, так или иначе, их участие необходимо для полноценного иммунного ответа организма.

Во многих тканях организма обнаружены лейкоциты и макрофаги, содержащие большое количество *лизоцима* — специального белка, подавляющего рост бактерий и вирусов. В значительных количествах лизоцим содержится в легочной ткани, в слюне и слезах, в слизи желудка-кишечного тракта, носоглотки и других органов человека, имеющих контакт с окружающей средой.

Еще одним неспецифическим агентом служит так называемый *С-реактивный белок*, содержание которого в плазме резко увеличивается при любом воспалительном процессе. Он участвует в подавлении жизнедеятельности чужеродных микробов.

Защиту от вторжения вирусов в значительной мере обеспечивает *интерферон* — специальный белок, вырабатываемый несколькими типами лейкоцитов. Помогая организму справиться с вирусным заболеванием, интерферон в то же время подавляет размножение собственных клеток организма, в том числе лимфоцитов. Именно поэтому при вирусных инфекциях наблюдается общее снижение иммунитета. Это же обстоятельство накладывает ограничения на использование в лечебных целях синтетического интерферона.

Неспецифические клеточные защитные механизмы. Неспецифический клеточный иммунитет обуславливают специальные клетки белой крови — лейкоциты и макрофаги, способные осуществлять фагоцитоз, т.е. уничтожать болезнетворные агенты и комплексы антиген-антитело. Фагоциты способны активно передвигаться к очагу воспаления и вступать в непосредственный контакт с чужеродной клеткой. Выпуская псевдоподии, они окружают такую клетку, образуя пузырек — фагосому, а затем постепенно ее переваривают.

Аллергические реакции. Иммуный ответ организма на вторжение болезнетворного или чужеродного агента должен быть адекватен, так как при недостаточной активности иммунной системы организм остается не полностью защищенным, а при чрезмерной активности возникают состояния гиперчувствительности. Именно к таким состояниям относятся разного рода аллергии. Чрезмерная чувствительность и реактивность организма в ответ на попадание в него сравнительно безобидных белков — серьезная проблема, часто сопровождающая детей раннего возраста, а порой и взрослых. В тяжелых случаях может возникать несовместимость с широким спектром продуктов питания, экологических и иных факторов. В большинстве случаев на сегодняшний день ситуация разрешается благодаря использованию разнообразных антигистаминных препаратов, частично снижающих иммунитет.

Иммунизация. Для формирования устойчивого иммунитета против многих заболеваний широко применяется *активная иммунизация* — обычно в форме *вакцинации*. В организм вводят либо ослабленный штамм болезнетворного агента, либо вырабатываемый им антиген в небольшом количестве. В результате развивается естественный иммунный ответ и формируется иммунная память, благодаря которой повторное внедрение в организм этого же болезнетворного микроба уже не застанет его иммунную систему врасплох. Именно в этом состоит смысл прививок, которые делают детям раннего возраста, а иногда и взрослым при угрозе эпидемий. В последние годы многие родители стараются избежать проведения прививок их детям, опасаясь аллергических реакций. Только опытный врач может в каждом конкретном случае определить, что более разумно: подвергать ребенка опасности заболеть тяжелой болезнью или подвергать его риску развития аллергической реакции.

При некоторых заболеваниях проводят *пассивную иммунизацию*: больному вводят антисыворотку против определенного антигена. Так лечат, например, бешенство и спасают от действия укусов ядовитых насекомых, пауков, змей и других животных. Во всех этих случаях лечение начинается уже после того, как вредоносное вещество попало в кровь, и вырабатывать иммунитет организма к этому веществу уже поздно, нужно срочно оказать помощь в уничтожении опасного для жизни чужеродного белка. Эту функцию и выполняет антисыворотка.

Вопросы и задания

1. Расскажите, из каких компонентов состоит кровь.
2. Чем отличается кровь ребенка от крови взрослого по составу и свойствам?
3. Как реагируют компоненты крови на учебную и физическую нагрузку?
4. Чем отличаются лимфа и тканевая жидкость от крови?
5. Что такое гомеостаз? Приведите пример.
6. Что такое иммунитет, какие бывают виды иммунитета?
7. Какие клетки в организме отвечают за иммунные реакции?
8. Чем отличается иммунитет у детей?
9. Что такое иммунизация и для чего она проводится?

Глава 7. ОБМЕН ВЕЩЕСТВ (МЕТАБОЛИЗМ)

Биоэнергетические основы жизни

Формы обмена энергией. В физике хорошо известны переходы энергии из одной формы в другую — например, потенциальной в кинетическую, электрической в химическую энергию молекулярных взаимодействий или механическую энергию электродвигателя, и т.д. В живом организме взаимопревращения форм энергии также многообразны. Например, свет (лучистая энергия) преобразуется зелеными растениями в энергию химических связей. Есть микроорганизмы, которые способны химическую энергию окружающей среды преобразовывать в химическую энергию собственного организма. Для животных организмов, к которым относится человек, характерно превращение химической энергии окислительных процессов в тепловую и механическую энергию, а также в химическую энергию образования сложнейших органических молекул. Потребляя пищу и кислород, организм использует эти вещества для получения энергии, которую затем выделяет в окружающее пространство в виде тепла или в виде механических перемещений предметов или частей собственного тела.

Баланс между продукцией и расходом энергии. Суммарное потребление энергии организмом равно суммарному количеству энергии, которое выделяется им в процессе жизнедеятельности. Надо подчеркнуть, что такой баланс можно наблюдать только в том случае, если наблюдение за организмом ведется достаточно длительно и при этом строго учитываются все виды потребленной или выделенной им энергии. В короткие промежутки времени (несколько минут или часов) баланс может и не наблюдаться из-за способности организма регулировать потребление и отдачу энергии в зависимости от конкретных условий, в которых он находится. В растущем организме некоторая (сравнительно небольшая, не выше 5—7 %) доля энергии аккумулируется в виде новых структур, молекул, клеток, и поэтому такой организм выделяет в окружающий мир чуть меньше энергии, чем потребляет. Такое соотношение процессов образования и расходования энергии принято называть *анаболизмом*. К старости, напротив, деструктивные процессы начинают преобладать над процессами синтеза, в результате чего выделение энергии может несколько превышать ее потребление. Такое соотношение называется *катаболизмом*. Анаболизм и катаболизм (как две стороны одной медали — энергетического метаболизма) непрерывно протекают в любом живом организме, причем они либо разделены в пространстве (т. е. в одних клетках в данный момент идет катаболизм, а в других — анаболизм), либо во времени, чередуясь в одной и той же клетке как фазы единого процесса. Однако при некоторых состояниях организма одно из этих направлений получает временное преимущество. Так, болезнь часто связана с преобладанием катаболизма, тогда как выздоровление обычно означает преобладание анаболизма.

Биологическое окисление. Единственным источником энергии для животного организма является химический процесс биологического окисления белков, жиров и углеводов. Если по той или иной причине организм лишен пищи, то его жизнедеятельность поддерживается за счет окисления накопленных заранее резервов углеводов (в печени и мышцах), жиров (жировая ткань), а также белков (собственные мышцы). Главное при этом — обеспечить достаточное энергоснабжение нервных клеток, от которых зависит управление всеми функциями организма. Гибель нервной системы означает гибель организма.

Химически процесс биологического окисления не отличается от процесса горения, только протекает гораздо медленнее, поскольку разделен на множество фаз и управляется специальными внутриклеточными ферментами. Такая «замедленность» окисления в живой клетке имеет глубокий биологический смысл: благодаря разделению процесса окисления на многочисленные фазы организму удается максимально полно использовать энергию, заключенную в химических связях окисляемых веществ. В результате

КПД внутриклеточного окисления бывает очень высоким — 90 % и более. В чем же «полезный результат» процесса биологического окисления? В отличие от процесса горения, в результате которого освобождается тепловая энергия, т.е. энергия химических связей превращается в энергию хаотического движения молекул, биологическое окисление энергию одних химических связей (в молекулах питательных веществ) преобразует в энергию других химических связей (в молекулах синтезируемых веществ).

Продукция энергии в клетке

АТФ — универсальная энергетическая «валюта» клетки. Одно из наиболее удивительных «изобретений» природы — это молекулы так называемых «макроэргических» веществ, в химической структуре которых имеется одна или несколько связей, которые выполняют функцию накопителей энергии. В живой природе найдено несколько подобных молекул, но в организме человека встречается только одна из них — аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Это довольно сложная органическая молекула, к которой присоединены 3 отрицательно заряженных остатка неорганической фосфорной кислоты PO_4 . Именно эти фосфорные остатки связаны с органической частью молекулы «макроэргическими» связями, легко разрушающимися при разнообразных внутриклеточных реакциях. Однако энергия этих связей не рассеивается в пространстве в виде тепла, а используется на движение или химическое взаимодействие других молекул. Именно благодаря этому свойству АТФ выполняет в клетке функцию универсального накопителя (аккумулятора) энергии, а также универсальной «валюты». Ведь почти каждое химическое превращение, происходящее в клетке, либо поглощает, либо высвобождает энергию. Согласно закону сохранения энергии, общее количество энергии, образованное в результате окислительных реакций и запасенное в виде АТФ, равно количеству энергии, которое может использовать клетка на свои синтетические процессы и выполнение любых функций. В качестве «оплаты» за возможность произвести то или иное действие клетка вынуждена расходовать свой запас АТФ. При этом следует особо подчеркнуть: молекула АТФ столь крупна, что она не способна проходить через клеточную мембрану. Поэтому АТФ, образованная в одной клетке, не может быть использована другой клеткой. Каждая клетка тела вынуждена синтезировать АТФ для своих нужд самостоятельно в тех количествах, в которых она необходима для выполнения ее функций.

Три источника синтеза АТФ в клетках организма человека. По-видимому, далекие предки клеток человеческого организма существовали много миллионов лет назад в окружении раститель-

ных клеток, которые в избытке снабжали их углеводами, причем кислорода было недостаточно или не было еще вовсе. Именно углеводы — наиболее употребляемая для производства энергии в организме составная часть питательных веществ. И хотя большинство клеток человеческого тела приобрело способность использовать в качестве энергетического сырья также белки и жиры, некоторые (например, нервные, красные кровяные, мужские половые) клетки способны производить энергию только за счет окисления углеводов.

Процессы первичного окисления углеводов — вернее, глюкозы, которая и составляет, собственно, основной субстрат окисления в клетках, — происходят непосредственно в цитоплазме: именно там расположены ферментные комплексы, благодаря которым молекула глюкозы частично разрушается, а освободившаяся энергия запасается в виде АТФ. Этот процесс называется *гликолиз*, он может проходить во всех без исключения клетках организма человека. В результате этой реакции из одной 6-углеродной молекулы глюкозы образуется две 3-углеродные молекулы пировиноградной кислоты и две молекулы АТФ.

Гликолиз — весьма быстрый, но сравнительно малоэффективный процесс. Образовавшаяся в клетке после завершения реакций гликолиза пировиноградная кислота почти тут же превращается в молочную кислоту и порой (например, во время тяжелой мышечной работы) в весьма больших количествах выходит в кровь, так как это небольшая молекула, способная свободно проходить через клеточную мембрану. Такой массированный выход кислых продуктов обмена в кровь нарушает гомеостаз, и организму приходится включать специальные гомеостатические механизмы, чтобы справиться с последствиями мышечной работы или другого активного действия.

Образовавшаяся в результате гликолиза пировиноградная кислота содержит в себе еще много потенциальной химической энергии и может служить субстратом для дальнейшего окисления, но для этого нужны специальные ферменты и кислород. Этот процесс происходит во многих клетках, в которых содержатся специальные органеллы — митохондрии. Внутренняя поверхность мембран митохондрий сложена из крупных липидных и белковых молекул, среди которых большое количество окислительных ферментов. Внутрь митохондрии проникают образовавшиеся в цитоплазме 3-углеродные молекулы — обычно это бывает уксусная кислота (ацетат). Там они включаются в непрерывно идущий цикл реакций, в процессе которых от этих органических молекул поочередно отщепляются атомы углерода и водорода, которые, соединяясь с кислородом, превращаются в углекислый газ и воду. В этих реакциях выделяется большое количество энергии, которая запасается в виде АТФ. Каждая молекула пировиноградной кисло-

ты, пройдя полный цикл окисления в митохондрии, позволяет клетке получить 17 молекул АТФ. Таким образом, полное окисление 1 молекулы глюкозы обеспечивает клетку $2 + 17 \times 2 = 36$ молекулами АТФ. Не менее важно, что в процесс митохондриального окисления могут включаться также жирные кислоты и аминокислоты, т. е. составляющие жиров и белков. Благодаря этой способности митохондрии делают клетку сравнительно независимой от того, какими продуктами питается организм: в любом случае необходимое количество энергии будет добыто.

Некоторая часть энергии запасается в клетке в виде более мелкой и подвижной, чем АТФ, молекулы креатинфосфата (КрФ). Именно эта маленькая молекула может быстро переместиться из одного конца клетки в другой — туда, где в данный момент более всего нужна энергия. КрФ не может сам отдавать энергию на процессы синтеза, мышечного сокращения или проведение нервного импульса: для этого требуется АТФ. Но зато КрФ легко и практически без потерь способен отдать всю заключенную в нем энергию молекуле аденазиндифосфата (АДФ), которая сразу же превращается в АТФ и готова к дальнейшим биохимическим превращениям.

Таким образом, затраченная в ходе функционирования клетки энергия, т.е. АТФ, может возобновляться за счет трех основных процессов: анаэробного (бескислородного) гликолиза, аэробного (с участием кислорода) митохондриального окисления, а также благодаря передаче фосфатной группы от КрФ к АДФ.

Креатинфосфатный источник — самый мощный, поскольку реакция КрФ с АДФ протекает очень быстро. Однако запас КрФ в клетке обычно невелик — например, мышцы могут с максимальным усилием работать за счет КрФ не более 6—7 с. Этого обычно достаточно, чтобы запустить второй по мощности — гликолитический — источник энергии. В этом случае ресурс питательных веществ во много раз больше, но по мере работы происходит все большее напряжение гомеостаза из-за образования молочной кислоты, и если такую работу выполняют крупные мышцы, она не может продолжаться более 1,5—2 мин. Зато за это время почти полностью активируются митохондрии, которые способны сжигать не только глюкозу, но также жирные кислоты, запас которых в организме почти неисчерпаем. Поэтому аэробный митохондриальный источник может работать очень долго, правда, мощность его сравнительно невелика — в 2—3 раза меньше, чем гликолитического источника, и в 5 раз меньше мощности креатинфосфатного.

Особенности организации энергопродукции в различных тканях организма. Разные ткани обладают различной насыщенностью митохондриями. Меньше всего их в костях и белом жире, больше всего — в буром жире, печени и почках. Довольно много митохондрий в нервных клетках. Мышцы не обладают высокой concentra-

цией митохондрий, но ввиду того, что скелетные мышцы — самая массивная ткань организма (около 40 % от массы тела взрослого человека), именно потребности мышечных клеток во многом определяют интенсивность и направленность всех процессов энергетического обмена. И.А.Аршавский называл это «энергетическим правилом скелетных мышц».

С возрастом происходит изменение сразу двух важных составляющих энергетического обмена: изменяется соотношение масс тканей, обладающих разной метаболической активностью, а также содержание в этих тканях важнейших окислительных ферментов. В результате энергетический обмен претерпевает достаточно сложные изменения, но в целом его интенсивность с возрастом снижается, причем весьма существенно.

Энергетический обмен

Энергетический обмен представляет собой наиболее интегральную функцию организма. Любые синтезы, деятельность любого органа, любая функциональная активность неминуемо отражается на энергетическом метаболизме, поскольку по закону сохранения, не имеющему исключений, любой акт, связанный с преобразованием вещества, сопровождается расходом энергии.

Энергозатраты организма складываются из трех неравных частей базального метаболизма, энергообеспечения функций, а также энергозатрат на рост, развитие и адаптивные процессы. Соотношение между этими частями определяется этапом индивидуального развития и конкретными условиями (табл. 2).

Базальный метаболизм — это тот минимальный уровень энергопродукции, который существует всегда, вне зависимости от функциональной активности органов и систем, и никогда не равен нулю. Базальный метаболизм складывается из трех основных видов энергозатрат: минимальный уровень функций, футильные циклы и репаративные процессы.

Минимальная потребность организма в энергии. Вопрос о минимальном уровне функций достаточно очевиден: даже в условиях полного покоя (например, спокойного сна), когда на организм никакие активизирующие факторы не действуют, необходимо поддержание определенной активности головного мозга и желез внутренней секреции, печени и желудочно-кишечного тракта, сердца и сосудов, дыхательных мышц и легочной ткани, тонической и гладкой мускулатуры, и т.п.

Футильные циклы. Менее известно, что в каждой клетке тела непрерывно происходят миллионы циклических биохимических реакций, в результате которых ничего не производится, но на их осуществление необходимо определенное количество энергии. Это

так называемые *футильные циклы*, процессы, сохраняющие «беспособность» клеточных структур при отсутствии реальной функциональной задачи. Как вращающийся волчок, футильные циклы придают стабильность клетке и всем ее структурам. Расход энергии на поддержание каждого из футильных циклов невелик, но их множество, и в итоге это выливается в достаточно заметную долю базальных энергозатрат.

Таблица 2

Структура энергетических затрат организма

Энергозатраты								
Базальный метаболизм			Функция			Рост и развитие (адаптация)		
Футильные циклы	Минимальный уровень функций	Репаративные процессы	Внешняя работа+			Синтезы (анаболизм)	Деструкция усталых структур (катаболизм)	Активация генома
			Гомеостаз (постоянство внутренней среды)	Гомеоморфоз (постоянство формы)	Гомеорез (постоянство развивающихся систем)			

Репаративные процессы. Многочисленные сложноорганизованные молекулы, участвующие в метаболических процессах, рано или поздно начинают повреждаться, теряя свои функциональные свойства или даже приобретая токсические. Необходимы непрерывные «ремонтно-восстановительные работы», убирающие из клетки поврежденные молекулы и синтезирующие на их месте новые, идентичные прежним. Такие *репаративные процессы* происходят постоянно в каждой клетке, так как время жизни любой белковой молекулы обычно не превышает 1—2 нед, а их в любой клетке сотни миллионов. Факторы внешней среды — неблагоприятная температура, повышенный радиационный фон, воздействия токсических веществ и многое другое — способны существенно укоротить жизнь сложных молекул и, как следствие, повысить напряжение репаративных процессов.

Минимальный уровень функционирования тканей многоклеточного организма. Функционирование клетки — это всегда некая *внешняя работа*. Для мышечной клетки это ее сокращение, для нервной клетки — выработка и проведение электрического импульса, для

железистой клетки — выработка секрета и акт секретирования, для эпителиальной клетки — пиноцитоз или другая форма взаимодействия с окружающими ее тканями и биологическими жидкостями. Естественно, что любая работа не может осуществляться без затрат энергии на ее реализацию. Но любая работа, кроме того, приводит к изменению внутренней среды организма, так как продукты жизнедеятельности активной клетки могут быть безразличны для других клеток и тканей. Поэтому второй эшелон энергозатрат при выполнении функции связан с активным поддержанием гомеостаза, на что порой расходуется весьма значительная часть энергии. Между тем не только состав внутренней среды меняется по ходу выполнения функциональных задач, нередко меняются и структуры, причем часто в сторону разрушения. Так, при сокращении скелетных мышц (даже небольшой интенсивности) всегда происходят разрывы мышечных волокон, т.е. нарушается целостность формы. Организм располагает специальными механизмами поддержания постоянства формы (гомеоморфоз), обеспечивающими скорейшее восстановление поврежденных или измененных структур, но на это опять же расходуется энергия. И, наконец, для развивающегося организма очень важно сохранить главные тенденции своего развития, независимо от того, какие функции приходится активировать в результате воздействия конкретных условий. Поддержание неизменности направления и каналов развития (гомеорез) — еще одна форма энергозатрат при активации функций.

Для развивающегося организма важной статьёй энергозатрат является собственно рост и развитие. Впрочем, для любого, в том числе зрелого организма, не менее энергоемкими по объему и весьма близкими по существу являются процессы адаптивных перестроек. Здесь расходы энергии направлены на активацию генома, деструкцию устаревших структур (катаболизм) и синтеза (анаболизм).

Затраты на базальный метаболизм и затраты на рост и развитие с возрастом существенно снижаются, а затраты на осуществление функций становятся качественно иными. Поскольку методически крайне трудно разделить базальные энергозатраты и расход энергии на процессы роста и развития, их обычно рассматривают совместно под названием «*основной обмен*».

Возрастная динамика основного обмена. Со времен М.Рубнера (1861) хорошо известно, что у млекопитающих по мере возрастания массы тела интенсивность теплопродукции в расчете на единицу массы снижается; тогда как величина обмена, рассчитанная на единицу поверхности, остается постоянной («правило поверхности»). Удовлетворительного теоретического объяснения эти факты до сих пор не имеют, и поэтому для выражения связи между размерами тела и интенсивностью метаболизма пользуются эмпирическими формулами. Для млекопитающих, включая и чело-

века, в настоящее время чаще всего пользуются формулой М. Клайбера:

$$M = 67,7 \cdot P^{0,75} \text{ ккал/сут,}$$

где M — теплопродукция целого организма, а P — масса тела.

Однако возрастные изменения основного обмена не всегда могут быть описаны с помощью этого уравнения. В течение первого года жизни теплопродукция не снижается, как это требовалось бы по уравнению Клайбера, а остается на одном уровне или даже несколько повышается. Лишь в годовалом возрасте достигается примерно та интенсивность обмена (55 ккал/кг-сут), которая «полагается» по уравнению Клайбера для организма массой 10 кг. Только с 3-летнего возраста интенсивность основного обмена начинает постепенно снижаться, а достигает уровня взрослого человека — 25 ккал/кг-сут — лишь к периоду половой зрелости.

Энергетическая стоимость процессов роста и развития. Нередко повышенную интенсивность основного обмена у детей связывают с затратами на рост. Однако точные измерения и расчеты, проведенные в последние годы, показали, что даже самые интенсивные ростовые процессы в первые 3 месяца жизни не требуют более 7—8 % от суточного потребления энергии, а после 12 месяцев они не превышают 1 %. Больше того, наивысший уровень энергозатрат организма ребенка отмечен в возрасте 1 года, когда скорость его роста становится в 10 раз ниже, чем в полугодовалом возрасте. Значительно более «энергоемкими» оказались те этапы онтогенеза, когда скорость роста снижается, а в органах и тканях происходят существенные качественные изменения, обусловленные процессами клеточных дифференцировок. Специальные исследования биохимиков показали, что в тканях, которые вступают в этап дифференцировочных процессов (например, в мозге), резко увеличивается содержание митохондрий, а следовательно, усиливается окислительный обмен и теплопродукция. Биологический смысл этого явления состоит в том, что в процессе клеточной дифференцировки образуются новые структуры, новые белки и другие крупные молекулы, которых раньше клетка производить не умела. Как и любое новое дело, это требует особых энергетических затрат, тогда как ростовые процессы — это налаженное «серийное производство» белковых и иных макромолекул в клетке.

В процессе дальнейшего индивидуального развития наблюдается снижение интенсивности основного обмена. При этом оказалось, что вклад различных органов в основной обмен с возрастом изменяется. Например, головной мозг (вносящий значительный вклад в основной обмен) у новорожденных составляет 12 % от массы тела, а у взрослого — только 2 %. Так же неравномерно растут и внутренние органы, которые, как и мозг, имеют даже в покое очень высокий уровень энергетического обмена —

300 ккал/кг • сут. В то же время мышечная ткань, относительное количество которой за время постнатального развития почти удваивается, характеризуется очень низким уровнем обмена в покое — 18 ккал/кг • сут. У взрослого на долю мозга приходится примерно 24 % основного обмена, на долю печени — 20 %, на долю сердца — 10 % и на скелетные мышцы — 28 %. У годовалого ребенка на долю мозга приходится 53 % основного обмена, вклад печени составляет около 18 %, а на долю скелетных мышц приходится только 8 %.

Обмен покоя у детей школьного возраста. Измерить основной обмен можно только в клинике: для этого требуются особые условия. А вот обмен покоя можно измерить у каждого человека: достаточно, чтобы он был в состоянии натошак и несколько десятков минут находился в мышечном покое. Обмен покоя немного выше, чем основной обмен, но эта разница не принципиальна. Динамика возрастных изменений обмена покоя не сводится к простому понижению интенсивности метаболизма. Периоды, характеризующиеся быстрым снижением интенсивности обмена, сменяются возрастными интервалами, в которых обмен покоя стабилизируется.

При этом обнаруживается тесная связь между характером изменения интенсивности метаболизма и скоростью роста (см. рис. 8 на с. 57). Столбиками на рисунке показаны относительные годовые приросты массы тела. Оказывается, чем больше относительная скорость роста, тем значительнее в этот период снижение интенсивности обмена покоя.

На представленном рисунке видна еще одна особенность — отчетливые половые различия: девочки в исследованном возрастном интервале примерно на год опережают мальчиков по изменению темпов роста и интенсивности обмена. При этом обнаруживается тесная связь между интенсивностью обмена покоя и темпами роста детей в период полуростового скачка — от 4 до 7 лет. В этот же период начинается смена молочных зубов на постоянные, что также может служить одним из показателей морфофункционального созревания.

В процессе дальнейшего развития снижение интенсивности основного обмена продолжается, причем теперь уже в тесной связи с процессами полового созревания. На начальных стадиях полового созревания интенсивность метаболизма у подростков примерно на 30 % выше, чем у взрослых. Резкое снижение показателя начинается на III стадии, когда активируются гонады, и продолжается вплоть до наступления половой зрелости. Как известно, пубертатный скачок роста также совпадает с достижением III стадии полового созревания, т.е. и в этом случае сохраняется закономерность снижения интенсивности метаболизма в периоды наиболее интенсивного роста.

Мальчики в своем развитии в этот период отстают от девочек примерно на 1 год. В строгом соответствии с этим фактом интенсивность обменных процессов у мальчиков всегда выше, чем у девочек того же календарного возраста. Различия эти невелики (5—10%), но стабильны на протяжении всего периода полового созревания.

Терморегуляция

Терморегуляция, т. е. поддержание постоянной температуры ядра тела, определяется двумя основными процессами: продукцией тепла и теплоотдачей. Продукция тепла (термогенез) зависит, в первую очередь, от интенсивности обменных процессов, тогда как теплоотдача определяется теплоизоляцией и целым комплексом довольно сложно организованных физиологических механизмов, включающих сосудодвигательные реакции, активность внешнего дыхания и потоотделения. В связи с этим термогенез относят к механизмам химической терморегуляции, а способы изменения теплоотдачи — к механизмам физической терморегуляции. С возрастом меняются как те, так и другие механизмы, а также их значимость в поддержании стабильной температуры тела.

Возрастноеразвитие механизмов терморегуляции. Чисто физические законы приводят к тому, что по мере увеличения массы и абсолютных размеров тела вклад химической терморегуляции снижается. Так, у новорожденных детей величина терморегуляторной теплопродукции составляет примерно $0,5 \text{ ккал/кг} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$, а у взрослого человека — $0,15 \text{ ккал/кг} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$.

Новорожденный ребенок при понижении температуры среды может увеличить теплопродукцию почти до тех же величин, что и взрослый человек, — до $4 \text{ ккал/кг} \cdot \text{ч}$. Однако ввиду малой теплоизоляции ($0,15 \text{ град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч/ккал}$) диапазон химической терморегуляции у новорожденного ребенка очень небольшой — не более 5° . При этом следует учесть, что критическая температура (T_{7z}), при которой включается термогенез, составляет для доношенного ребенка $+33^\circ\text{C}$, ко взрослому состоянию она снижается до $+27\dots+23^\circ\text{C}$. Однако в одежде, теплоизоляция которой обычно составляет $2,5 \text{ КЛО}$, или $0,45 \text{ град}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч/ккал}$, величина критической температуры T_h снижается до $+20^\circ\text{C}$, поэтому ребенок в обычной для него одежде при комнатной температуре находится в термонейтральной среде, т. е. в условиях, не требующих дополнительных затрат на поддержание температуры тела.

Только при процедуре переодевания для предотвращения охлаждения ребенок первых месяцев жизни должен включать достаточно мощные механизмы теплопродукции. Причем у детей этого возраста имеются особые, специфические, отсутствующие у взрос-

лых механизмы термогенеза. Взрослый человек в ответ на охлаждение начинает дрожать, включая так называемый «сократительный» термогенез, т.е. дополнительную теплопродукцию в скелетных мышцах (холодовая дрожь). Особенности конструкции тела ребенка делают такой механизм теплопродукции неэффективным, поэтому у детей активируется так называемый «несократительный» термогенез, локализованный не в скелетных мышцах, а совсем в других органах.

Это внутренние органы (прежде всего, печень) и специальная *бурая жировая ткань*, насыщенная митохондриями (от того и ее бурый цвет) и обладающая высокими энергетическими возможностями. Активацию теплопродукции бурого жира у здорового ребенка можно заметить по повышению кожной температуры в тех частях тела, где бурый жир расположен более поверхностно, — межлопаточная область и шея. По изменению температуры в этих областях можно судить о состоянии механизмов терморегуляции ребенка, о степени его закаленности. Так называемый «горячий затылок» ребенка первых месяцев жизни связан именно с активностью бурого жира.

В течение первого года жизни активность химической терморегуляции снижается. У ребенка 5—6 мес роль физической терморегуляции заметно возрастает. С возрастом основная масса бурого жира исчезает, но еще до 3-летнего возраста сохраняется реакция самой крупной части бурого жира — межлопаточной. Имеются сообщения, что у взрослых людей, работающих на Севере, на открытом воздухе, бурая жировая ткань продолжает активно функционировать.

В обычных условиях у ребенка старше 3 лет активность несократительного термогенеза ограничена, а главенствующую роль в повышении теплопродукции при активации химической терморегуляции начинает играть специфическая сократительная активность скелетных мышц — мышечный тонус и мышечная дрожь. Если такой ребенок оказывается в условиях обычной комнатной температуры (+20 °С) в трусах и майке, у него в 80 случаях из 100 активируется теплопродукция.

Усиление ростовых процессов в период полуростового скачка (5—6 лет) приводит к увеличению длины и площади поверхности конечностей, что обеспечивает регулируемый теплообмен организма с окружающей средой. Это в свою очередь приводит к тому, что начиная с 5,5—6 лет (особенно отчетливо у девочек) происходят значительные изменения терморегуляторной функции. Теплоизоляция тела возрастает, а активность химической терморегуляции существенно снижается. Такой способ регуляции температуры тела более экономичен, и именно он в ходе дальнейшего возрастного развития становится преобладающим. Этот период развития терморегуляции является сенситивным для проведения закаливающих процедур.

С началом полового созревания наступает следующий этап развития терморегуляции, проявляющийся в расстройстве складывавшейся функциональной системы. У 11 — 12-летних девочек и 13-летних мальчиков, несмотря на продолжающееся снижение интенсивности обмена покоя, соответствующей подстройки сосудистой регуляции не происходит. Лишь в юношеском возрасте после завершения полового созревания возможности терморегуляции достигают дефинитивного уровня развития. Повышение теплоизоляции тканей собственного тела позволяет обходиться без включения химической терморегуляции (т.е. добавочной теплопродукции) даже при снижении температуры среды на 10—15°C. Такая реакция организма, естественно, более экономична и эффективна.

Питание

Все необходимые организму человека вещества, которые используются для производства энергии и строительства собственного тела, поступают из окружающей среды. По мере взросления ребенок к концу первого года жизни все в большей мере переходит на самостоятельное питание, а после 3 лет питание ребенка мало чем отличается от питания взрослого.

Структурные компоненты пищевых веществ. Пища человека бывает растительного и животного происхождения, но независимо от этого она состоит из одних и тех же классов органических соединений — белков, жиров и углеводов. Собственно, эти же классы соединений составляют в основном и тело самого человека. В то же время различия между животной и растительной пищей есть, и довольно важные.

Углеводы. Наиболее массовый компонент растительной пищи — это углеводы (чаще всего в виде крахмала), составляющие основу энергетического обеспечения человеческого организма. Для взрослого человека требуется получать углеводы, жиры и белки в соотношении 4:1:1. Поскольку у детей обменные процессы идут интенсивнее, причем главным образом — за счет метаболической активности мозга, который питается почти исключительно углеводами, дети должны получать больше углеводной пищи — в отношении 5:1:1. В первые месяцы жизни ребенок не получает растительной пищи, зато в женском молоке относительно очень много углеводов: оно примерно такое же жирное, как коровье, содержит в 2 раза меньше белков, но зато в 2 раза больше углеводов. Соотношение углеводов, жиров и белков в женском молоке составляет примерно 5:2:1. Искусственные смеси для вскармливания детей первых месяцев жизни приготавливаются на основе разбавленного примерно вдвое коровьего молока с добавлением фруктозы, глюкозы и других углеводов.

Жиры. Растительная пища редко бывает богата жирами, однако содержащиеся в растительных жирах компоненты крайне необходимы для организма человека. В отличие от животных жиров, растительные содержат много так называемых полиненасыщенных жирных кислот. Это длинноцепочечные жирные кислоты, в структуре которых имеются двойные химические связи. Такие молекулы используются клетками человека для строительства клеточных мембран, в которых они выполняют стабилизирующую роль, защищая клетки от вторжения агрессивных молекул и свободных радикалов. Благодаря этому свойству растительные жиры обладают противораковой, антиоксидантной и противорадикальной активностью. Кроме того, в растительных жирах обычно растворено большое количество ценных витаминов группы *Л* и *Е*. Еще одно достоинство растительных жиров — отсутствие в них холестерина, который способен откладываться в кровеносных сосудах человека и вызывать их склеротические изменения. Животные жиры, напротив, содержат значительное количество холестерина, но практически не несут в себе витаминов и полиненасыщенных жирных кислот. Тем не менее животные жиры также необходимы организму человека, поскольку они составляют важный компонент энергетического обеспечения, а кроме того, содержат липокинины, которые помогают организму усваивать и перерабатывать свой собственный жир.

Белки. Растительные и животные белки также существенно различаются по своему составу. Хотя все белки состоят из аминокислот, некоторые из этих важнейших «кирпичиков» могут синтезироваться клетками человеческого организма, а другие не могут. Этим последним немного, всего 4—5 видов, но их ничем нельзя заменить, поэтому они называются *незаменимыми аминокислотами*. Растительная пища почти не содержит незаменимых аминокислот — только бобовые и соевые культуры имеют в своем составе небольшое их количество. Между тем в мясе, рыбе и других продуктах животного происхождения эти вещества представлены широко. Нехватка некоторых незаменимых аминокислот резко отрицательно сказывается на динамике ростовых процессов и на развитии многих функций, причем наиболее существенно на развитии мозга и интеллекта ребенка. По этой причине дети, длительно страдающие от недоедания в раннем возрасте, нередко остаются на всю жизнь умственно неполноценными. Вот почему детей ни в коем случае нельзя ограничивать в употреблении животной пищи: как минимум, молока и яиц, а также рыбы. По-видимому, с этим же обстоятельством связано то, что дети до 7 лет, согласно христианским традициям, не должны соблюдать пост, т.е. отказываться от животной пищи.

Макро- и микроэлементы. В пищевых продуктах содержатся почти все известные науке химические элементы, за исключением,

быть может, радиоактивных и тяжелых металлов, а также инертных газов. Некоторые элементы, такие, как углерод, водород, азот, кислород, фосфор, кальций, калий, натрий и некоторые другие, входят в состав всех пищевых продуктов и поступают в организм в очень большом количестве (десятки и сотни граммов в сутки). Такие вещества принято относить к *макроэлементам*. Другие содержатся в пище в микроскопических дозах, поэтому их называют *микроэлементами*. Это йод, фтор, медь, кобальт, серебро и многие другие элементы. К микроэлементам нередко относят железо, хотя его количество в организме довольно велико, так как железо играет ключевую роль в переносе кислорода внутри организма. Недостаток любого из микроэлементов может стать причиной серьезного заболевания. Нехватка йода, например, ведет к развитию тяжелого заболевания щитовидной железы (так называемый *зоб*). Нехватка железа приводит к железодефицитной анемии — форме малокровия, которая отрицательно сказывается на работоспособности, темпах роста и развития ребенка. Во всех подобных случаях необходима коррекция питания, включение в рацион продуктов, содержащих недостающие элементы. Так, йод содержится в большом количестве в морской капусте — ламинарии, кроме того, в магазинах продается йодированная поваренная соль. Железо содержится в говяжьей печени, яблоках и некоторых других фруктах, а также в детских ирисках «Гематоген», продающихся в аптеках.

Витамины, авитаминоз, болезни обмена веществ. Витамины — это средние по размеру и сложности органические молекулы, которые обычно не вырабатываются клетками организма человека. Мы вынуждены получать витамины с пищей, так как они необходимы для работы многих ферментов, регулирующих биохимические процессы в организме. Витамины — очень нестойкие вещества, поэтому приготовление пищи на огне почти полностью уничтожает содержащиеся там витамины. Только сырые продукты содержат витамины в заметном количестве, поэтому главным источником витаминов для нас являются овощи и фрукты. Хищные звери, а также коренные жители Севера, питающиеся почти исключительно мясом и рыбой, получают достаточное количество витаминов из сырых продуктов животного происхождения. В жареном и вареном мясе и рыбе витаминов практически нет.

Нехватка витаминов проявляется в различных болезнях обмена веществ, которые объединяются под названием *авитаминозы*. Витаминов сейчас открыто уже около 50, и каждый из них отвечает за свой «участок» обменных процессов, соответственно и болезней, вызванных авитаминозом, насчитывается несколько десятков. Цинга, бери-бери, пеллагра и другие болезни этого рода широко известны.

Витамины делятся на две большие группы: *жирорастворимые* и *водорастворимые*. Водорастворимые витамины в большом количе-

стве содержатся в овощах и фруктах, а жирорастворимые — чаще в семенах и орехах. Оливковое, подсолнечное, кукурузное и другие растительные масла — важные источники многих жирорастворимых витаминов. Однако витамин *D* (противорахитный) содержится преимущественно в рыбьем жире, который добывают из печени трески и некоторых других морских рыб.

В средних и северных широтах к весне в сохранившейся с осени растительной пище количество витаминов резко убывает, и многие люди — жители северных стран — испытывают авитаминоз. Преодолевать это состояние помогают соленые и квашеные продукты (капуста, огурцы и некоторые другие), в которых высоко содержание многих витаминов. Кроме того, витамины вырабатываются микрофлорой кишечника, поэтому при нормальном пищеварении человек снабжается многими важнейшими витаминами группы *B* в достаточном количестве. У детей первого года жизни микрофлора кишечника еще не сформирована, поэтому они должны получать в качестве источников витаминов достаточное количество материнского молока, а также фруктовых и овощных соков.

Суточная потребность в энергии, белках, витаминах. Количество съедаемой за день пищи напрямую зависит от скорости обменных процессов, поскольку пища должна полностью компенсировать потраченную на все функции энергию (рис. 13). Хотя интенсивность обменных процессов с возрастом у детей старше 1 года снижается, увеличение массы их тела приводит к нарастанию суммарных (валовых) энергозатрат. Соответственно увеличивается и потребность в основных питательных веществах. Ниже приведены справочные таблицы (табл. 3—6), показывающие примерные цифры нормального суточного потребления питательных веществ, витаминов и важнейших минеральных веществ детьми. Следует подчеркнуть, что в таблицах дана масса чистых веществ без учета входящей в любую пищу воды, а также органических веществ, не относящихся к белкам, жирам и углеводам (например, целлюлозы, составляющей основную массу овощей).

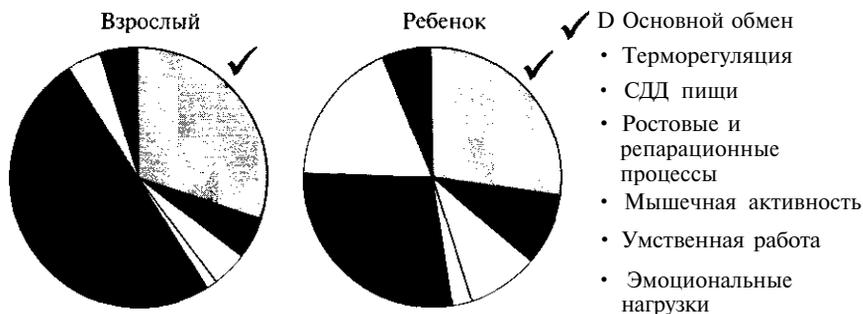


Рис. 13. Структура суточных энергозатрат взрослого и ребенка (от знака ✓ по часовой стрелке)

Потребность в белках, жирах и углеводах детей и подростков (в г/сут)

Возраст, годы	Белки		Жиры		Углеводы
	Всего	Животные	Всего	Животные	
0,5—1	25	20—25	25	—	113
1—1,5	48	36	48	—	160
1,5—2	53	40	53	5	192
3—4	63	44	63	8	233
5—6	72	47	72	11	252
7—10	80	48	80	15	324
11—13	96	58	96	18	382
14—17	106	64	106	20	422
мальчики					
14—17	93	56	93	20	367
девочки					

Примечание. Сюда не включены белки, жиры и углеводы, получаемые детьми из материнского молока.

Потребность детей и подростков в витаминах (в мг/сут)

Возраст, годы	А	В ₁	В ₂	РР	В ₆	С
0,5—1	0,5	0,5	0,6	6,0	0,5	20,0
1—1,5	1,0	0,8	1,1	9,0	0,9	35,0
1,5—2	1,0	0,9	1,2	10,0	1,0	40,0
3—4	1,0	1,1	1,4	12,0	1,3	45,0
5—6	1,0	1,2	1,6	13,0	1,4	50,0
7—10	1,5	1,4	1,9	15,0	1,7	50,0
11—13	1,5	1,7	2,3	19,0	2,0	60,0
14—17	1,5	1,9	2,5	21,0	2,2	80,0
мальчики						
14—17	1,5	1,7	2,2	18,0	1,9	70,0
девочки						

**Потребность детей и подростков в некоторых минеральных веществах
(в мг/сут)**

Возраст, годы	Кальций	Фосфор	Магний	Железо
До 1 года	1000	1500	—	7
1-3	1000	1500	140	8
4-6	1000	1500	220	8
7-10	1200	2000	360	10
11-13	1500	2500	400	15
14-17	1400	2000	530	15

**Потребность в витаминах, их роль и последствия недостаточного
потребления (по В.Б.Спиричеву, 2000)**

Витамин (в сутки)	Рекомендуемые суточные нормы потребления		Роль в организме	Последствия и проявления недостаточного потребления
	Возрастная группа	Количе- ство		
С Аскорби- новая кис- лота, мг	Младенцы	30-40	Поддерживает в здоровом состоя- нии кровеносные сосуды, кожу и костную ткань; стимулирует за- щитные силы организма, укреп- ляет иммунную систему; способ- ствует обезврежи- ванию и выведе- нию чужеродных веществ и ядов, улучшает усвое- ние железа	Быстрая утомля- емость, снижен- ный иммунитет, хрупкость крове- носных сосудов (частые синяки, кровоточивость десен), плохое заживление ран, нарушение усвое- ния железа, в тя- желых случаях— цинга
	Дети	45-60		
	Подростки	70		
	Взрослые	70-80		
	Беремен- ные и кор- мящие	90-120		
	Пожилые	80		
А Ретинол, мг	Младенцы	0,4	Обеспечивает вос- приятие света глазом. Необхо- дим для нормаль- ного развития и поддержания в	Снижение остроты зрения, особенно в сумерках; истон- чение, сухость, шелушение кожи; сухость внутренних
	Дети	0,5-0,7		

Витамин (в сутки)	Рекомендуемые суточные нормы потребления		Роль в организме	Последствия и проявления недостаточного потребления
	Возрастная группа	Количе- ство		
	Подростки	0,8-1,0	здоровом состоянии слизистых оболочек органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, выделительных и половых органов. Поддерживает активность иммунитета	покровов влажной; угревая сыпь, фурункулез; нарушение структуры и роста волос; сниженный иммунитет, склонность к бронхолегочным и простудным заболеваниям; нарушение репродуктивной функции яичников; изменения роговицы глаза, в тяжелых случаях — слепота
	Взрослые	0,8-1,0		
	Беременные и кормящие	1,0-1,4		
	Пожилые	0,8-1,0		
D Кальци- ферол, мкг	Младенцы	10	Необходим для усвоения кальция и фосфора, роста и развития костей и зубов	Повышенная нервная возбудимость, склонность к судорогам, особенно икроножной мышцы. Нарушение роста и сохранности костей и зубов. Склонность к переломам костей, их медленное срастание. Рахит в детском возрасте. Боли в костях и переломы шейки бедра в пожилом возрасте
	Дети	10-2,5		
	Подростки	2,5		
	Взрослые	2,5		
	Беременные и кормящие	10		
	Пожилые	2,5		
E Токофе- рол, мг	Младенцы	3 - 4	Защищает клетки и ткани от повреждающего действия активных форм кислорода, предотвращает разрушительное действие физиче-	Повышенная склонность к разрушению красных кровяных телец крови; анемия (малокровие); мышечная слабость; бесплодие
	Дети	5-10		
	Подростки	10-15		
	Взрослые	8-10		

Витамин (в сутки)	Рекомендуемые суточные нормы потребления		Роль в организме	Последствия и проявления недостаточного потребления
	Возрастная группа	Количе- ство		
	Беремен- ные и кор- мящие	10-14	ского и эмоцио- нального напря- жения (стресса)	
	Пожилые	12-15		
К Филлохи- нон, мкг	Младенцы	5-10	Участвует в свер- тывании крови и обмене веществ костной ткани	Ухудшение сверты- ваемости крови; склонность к крово- течениям, в т.ч. обильным
	Дети	15-30		
	Подростки	45-65		
	Взрослые	60-80		
	Беремен- ные и кор- мящие	65		
	Пожилые	65-80		
В₁ Тиамин, мкг	Младенцы	0,3-0,5	Участвует в обмене углеводов и обеспечении энергией нервной и мышечной сис- тему также дру- гих органов и тка- ней	Ухудшение аппе- тита и сна, повы- шенная раздражи- тельность, быстрая утомляемость, мы- шечная слабость, нарушения работы сердца, отеки
	Дети	0,8-1,2		
	Подростки	1,3-1,5		
	Взрослые	1,1-2,1		
	Беремен- ные и кор- мящие	1,5-2,1		
	Пожилые	1,1-1,4		
В₂ Рибофла- вин, мг	Младенцы	0,4-0,6	Участвует в обмене жиров и обеспечении организма энергией. Ва- жен для восприя- тия различных цветов в процессе зрения	Трещины на губах и в углах рта; вос- палительные изме- нения кожи (дер- матит); малокровие (анемия); свето- боязнь, нарушение восприятия раз- личных цветов
	Дети	1,9-1,4		
	Подростки	1,5-1,7		
	Взрослые	1,5-2,4		
	Беремен- ные и кор- мящие	1,6-2,3		
	Пожилые	1,3-1,6		

Витамин (в сутки)	Рекомендуемые суточные нормы потребления		Роль в организме	Последствия и проявления недостаточного потребления
	Возрастная группа	Количе- ство		
В₆ Пиридо- ксин, мг	Младенцы	0,5	Участвует в обмене белка, аминокислот и серы, процессах кроветворения. Важен для деятельности нервной системы, состояния кожных покровов, волос, ногтей, костной ткани	Потеря аппетита, раздражительность, нервные срывы, депрессивные состояния; изменения слизистой оболочки языка, кожи, повышенная склонность к кариесу; ухудшение кроветворения, малокровие; предрасположенность к судорогам, склеротическим изменениям сосудов
	Дети	1,5		
	Подростки	2,0		
	Взрослые	2,1		
	Беременные и кормящие	2,5		
	Пожилые	1,8		
pp Ниацин, мг	Младенцы	5-7	Участвует в обмене углеводов и обеспечении организма энергией. Важен для нервной, мышечной системы, состояния кожных покровов, желудочно-кишечного тракта	Вялость, апатия, потеря аппетита, сна, повышенная раздражительность, нервозность, быстрая утомляемость, расстройства стула, бледность и сухость кожи, воспалительные изменения кожи под действием света (фотодерматозы), сердцебиение, головокружение, истощение организма, болезненная потеря веса, психические расстройства
	Дети	10-15		
	Подростки	17-20		
	Взрослые	14-28		
	Беременные и кормящие	16-25		
	Пожилые	13-18		
Фолиевая кислота, мг	Младенцы	40-60	Необходима для деления клеток, роста и развития всех органов и тканей, нормального развития зародыша и плода,	Слабость, быстрая утомляемость, малокровие; нарушение работы желудочно-кишечного тракта, расстройство стула; во время беремен-
	Дети	100-200		
	Подростки	200		
	Взрослые	200		

Витамин (в сутки)	Рекомендуемые суточные нормы потребления		Роль в организме	Последствия и проявления недостаточного потребления
	Возрастная группа	Количе- ство		
	Беремен- ные и кор- мящие	400	процессов крове- творения	ности невынашива- ние, врожденные нарушения разви- тия и уродства новорожденных
	Пожилые	200		
В₁₂ Кобала- мин, мкг	Младенцы	0,3-0,5	Необходим для кроветворения и нормального раз- вития нервных волокон	Слабость, быстрая утомляемость, головокружение, сердцебиение, малокровие, деге- неративные изме- нения нервной системы
	Дети	1-2		
	Подростки	3		
	Взрослые	3		
	Беремен- ные и кор- мящие	4		
	Пожилые	3		
Пантоте- новая кислота, мг	Младенцы	2-3	Участвует в обмене жиров и угле- водов, образова- нии половых гор- монов, в т.ч. эстрогенов	Жжение в стопах, упадок сил, уста- лость, шелушение кожи, поседение и выпадение волос, желудочно-кишеч- ные расстройства
	Дети	3-4		
	Подростки	4-5		
	Взрослые	4-7		
	Беремен- ные и кор- мящие	4-7		
	Пожилые	4-7		
Биотин, мкг	Младенцы	10-15	Участвует в обмене углеводов и жиров	Бледность и шелу- шение кожи, вя- лость, сонливость, тошнота, потеря аппетита, выпадение волос, боли в мышцах
	Дети	20-25		
	Подростки	30-100		
	Взрослые	30-100		
	Беремен- ные и кор- мящие	30-100		
	Пожилые	30-100		

Примечание. Младенцы — возраст 0—12мес; дети — от 1 до 10 лет; подростки — 11—17 лет; взрослые — 18—60 лет; пожилые — старше 60 лет.

Избыточное количество витаминов и минеральных веществ, поступивших с пищей, обычно не приносит вреда, так как эти вещества легко удаляются из организма с испражнениями. Однако регулярное чрезмерное употребление некоторых витаминов и минералов может привести к развитию обменных заболеваний.

Энергетическая ценность продуктов питания. Окисление в организме 1 г белка позволяет высвободить 17,17 кДж (4,1 ккал) энергии, 1 г жира — 38,94 кДж (9,3 ккал), 1 г углеводов — 17,17 кДж (4,1 ккал). Как видно из этого сопоставления, жиры обладают наибольшей энергетической ценностью: она примерно в два раза выше, чем у белков и углеводов. Однако это сугубо термодинамический расчет, не учитывающий реалий биосистемы. С точки зрения функции, наиболее эффективным обычно является использование углеводов. Дело в том, что при окислении жиров в митохондриях значительная часть энергии рассеивается в виде тепла, тогда как окисление углеводов позволяет получать АТФ с очень высоким КПД. По этой причине жиры активно окисляются в организме только в двух случаях: 1) когда холодно и нужно произвести добавочное количество тепла, чтобы согреться; 2) когда выполняется очень длительная (десять минут) физическая работа весьма умеренной мощности. Что касается окисления белков для энергетических нужд, то это вообще нерационально с точки зрения клетки. Гораздо выгоднее использовать аминокислоты, из которых состоят белки, не в качестве топлива, а в качестве строительных блоков. Белки используются клеткой для окисления только в крайнем случае, когда не хватает углеводов и жиров или когда необходимо уничтожить «поломанные» белковые молекулы, ставшие опасными из-за своей токсичности.

Условность расчетов калорийческой «стоимости» диеты. Примитивно-термодинамический подход к оценке калорийности (энергетической ценности) съеданной пищи, к сожалению, наиболее обычен в литературе, касающейся вопросов питания. Существуют даже разнообразные табличные, карманные и иные «счетчики калорий», которые якобы позволяют человеку контролировать потребление пищи. На самом деле все такие расчеты не слишком точны, поскольку исходят из представления об организме человека как о тепловой машине. Между тем уже давно доказано, что организм во много раз более эффективен, чем тепловая машина. Кроме того, организм — это весьма тонко регулирующаяся система со множеством обратных связей, и примитивные расчеты здесь часто оказываются ошибочными.

В качестве наглядного примера можно рассмотреть хорошо известный физиологам, но обычно не учитываемый диетологами эффект, который старомодно называется «специфически-динамическое действие пищи». Еще в начале XX в. было установлено, что любая съеденная пища приводит к более или менее значи-

тельному увеличению энергопродукции, которое наблюдается через 30—60 мин после приема пищи и может длиться несколько часов. Организм нуждается в затратах энергии на усвоение пищи, причем наиболее «дорогостоящим» оказалось усвоение белков, менее «дорогим» — усвоение углеводов, и самым «дешевым» — жиров. Оказалось также, что дети тратят на усвоение питательных веществ существенно больше энергии, чем взрослые, — иногда до 50 % от полученного с пищей запаса энергии. Эти затраты энергии снижаются, если пища состоит из смеси белков, жиров и углеводов. Точная причина специфически динамического действия пищи до сих пор не выяснена, хотя установлено, что в этой реакции участвуют гормоны, выделяемые «сытым» желудком. Наиболее вероятной представляется гипотеза, согласно которой поступившие с пищей питательные вещества откладываются «про запас» в имеющиеся для этого депо: жир — в жировой ткани, белки — в мышцах, углеводы — в мышцах и печени (в виде гликогена). Если же имеющиеся депо заполнены, то избыток пищевых веществ просто «сжигается».

Пищеварение

Чтобы стать доступными для метаболических превращений в клетках, пищевые вещества должны пройти предварительную обработку в желудочно-кишечном тракте. Только всосавшись в кровь и лимфу из кишечника, белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные соли и вода включаются в обмен веществ. Все эти процессы составляют главную функцию пищеварительной системы.

Возрастные изменения строения и функций пищеварительной системы неразрывно связаны с особенностями жизнедеятельности организма на каждом из этапов онтогенеза, т.е. с энергетическими и пластическими потребностями, с особенностями питания.

Ротовая полость. Пищеварение начинается с полости рта, где происходит первичная механическая и ферментативная обработка пищи. Первые ферменты, с которыми встречается пища, содержатся в слюне. Секретция слюны у ребенка начинается сразу после рождения, хотя при питании молоком нет необходимости смачивать пищу и гидролизировать отсутствующие в молоке полисахариды. Слюна в этот период играет роль герметизатора ротовой полости при сосании — иначе ребенок заглатывал бы большие количества воздуха, которые раздували бы его желудок и кишечник. С переходом на питание твердой пищей количество образующейся слюны увеличивается. Масса трех пар слюнных желез новорожденного составляет 6 г. В течение первых 6 месяцев жизни она увеличивается в 3 раза и почти в 5 раз в течение первых 2 лет.

После окончания периода молозивного вскармливания в слюне появляется лизоцим, который до того поступал в организм новорожденного с молоком матери. Таким образом, иммунологическая, защитная функция слюны формируется уже в раннем постнатальном онтогенезе. Следует отметить, что, будучи «входными воротами» для множества инфекций, ротоглоточная область обильно снабжена лимфоидной тканью. Так, две небные миндалевидные железы — язычная и носоглоточная — образуют почти полное кольцо лимфоидной ткани, окружающей глотку. Наибольшего развития эти железы достигают в период от 1 года до 5—6 лет, после чего постепенно инволюируют.

Новорожденный секретирует 0,6—6 мл слюны в час, при сосании это количество может возрастать до 24 мл/ч. Секретция слюны у детей школьного возраста колеблется от 12 до 18 мл/ч, причем уже у 7-летних детей количество вырабатываемой слюны практически такое же, как у взрослых. У детей до 7—10 лет слюна имеет слабощелочную реакцию. После начала полового созревания слюна становится слабокислой.

Слюна состоит более чем на 99 % из воды, в которой растворены органические и неорганические вещества. Органические вещества составляют более половины сухого остатка слюны, среди них удается выявить девять белковых компонентов, в том числе альбумины, иммуноактивные альфа-, бета- и гамма-глобулины, а также ферменты лизоцим и амилазу. Лизоцим — это защитный белок, уничтожающий болезнетворные бактерии. Амилаза — пищеварительный фермент, расщепляющий гигантские полимерные цепи молекул крахмала на более мелкие фрагменты, состоящие из коротких цепочек по 1—2—3 мономера глюкозы.

Активность амилазы слюны резко возрастает в течение 1-го года жизни, достигая практически тех же значений у годовалого ребенка, что и у взрослого. Наибольшее содержание амилазы в слюне наблюдается в возрасте от 2 до 7 лет, после 13 лет оно заметно снижается. Такая динамика не случайна. Дети раннего возраста могут усваивать большое количество углеводов, которые необходимы для питания их интенсивно развивающегося мозга.

Желудок. Желудок среднего новорожденного весит 6 г, а площадь его внутренней поверхности составляет примерно 39 см². По мере увеличения размеров тела абсолютная масса и поверхность слизистой желудка постепенно возрастают. Относительная масса желудка (в % от массы тела) постепенно увеличивается на протяжении первого года жизни ребенка, затем происходит резкое увеличение в связи с переходом на смешанное питание. В целом увеличение относительных размеров желудка продолжается до 5—7 лет, т.е. до полуростового скачка. У взрослого человека относительная величина массы желудка оказывается несколько ниже, чем у детей, ведь ему уже не нужно так много пищи для обеспече-



Рис. 14. Упрощенная схема строения женской груди. Видны дольки, где секретируется молоко, а также протоки и синусы по которым молоко направляется к соску

ния его энергетических и пластических потребностей. Вес желудка взрослого человека составляет свыше 150 г, а площадь слизистой — более 500 см².

Секреторная функция желудка. Вырабатываемый железами желудка пищеварительный сок содержит ферменты пепсин и трипсин, которые расщепляют молекулы белков пищи на составные части — аминокислоты. В дальнейшем аминокислоты всасываются в кровь и поступают к клеткам тела с током крови. Для того чтобы пепсин и трипсин проявляли высокую активность, необ-

ходима кислая среда. Поэтому специальные клетки желудка вырабатывают соляную кислоту. Еще одна группа клеток вырабатывает слизь, которой покрыта вся слизистая желудка, чтобы его не могли разъесть собственные ферменты и кислота.

У новорожденных натощак кислотность желудочного сока очень низкая. Однако через несколько минут после кормления железы желудка начинают активно вырабатывать свой секрет, в том числе — соляную кислоту, и рН быстро снижается. Переваривание молочного белка казеина происходит в желудке новорожденного весьма эффективно. Фермент химозин обеспечивает створаживание молока, попавшего в желудок. Другой фермент — липаза — способствует перевариванию жиров, содержащихся в женском молоке. Кроме того, некоторое количество липазы содержится в самом женском молоке, вырабатываемом грудной железой матери (рис. 14), что еще более облегчает задачу усвоения жиров грудным младенцем. В коровьем молоке липаза практически отсутствует, поэтому при искусственном вскармливании смесями на основе коровьего молока жиры усваиваются значительно медленнее и хуже.

Кислотность желудочного сока у детей до завершения полового созревания понижена по сравнению со взрослыми. Это может служить причиной несколько сниженной резистентности (сопротивляемости) детей к различного рода желудочно-кишечным инфекциям.

Наиболее существенные возрастные изменения в секреции желудочного сока происходят до 7 лет, однако на этом процесс

развития пищеварительной функции не заканчивается. Лишь после достижения половой зрелости завершается формирование морфофункциональных свойств пищеварительной системы. В подростковом возрасте формируется тип желудочной секреции, тесно связанный с типом конституции. В этом же возрасте нередко начинают проявляться разнообразные отклонения от нормы в деятельности желудочно-кишечного тракта, среди которых типичны повышенная и пониженная секреторная активность желудка.

Активность ферментов желудочного сока. Основная функция желудка — начальный гидролиз белков — осуществляется двумя желудочными ферментами: пепсином и гастроксином. Максимальная активность пепсина проявляется при рН 1,5—2,5. Оптимум активности гастроксина соответствует рН 3,0—3,2.

Активность желудочного сока новорожденных детей низкая. По мере развития активность желудочного сока изменяется в соответствии с характером вскармливания, увеличиваясь по мере уменьшения доли грудного молока в пищевом рационе ребенка и перевода его на искусственное питание.

В период грудного вскармливания пищеварение у детей протекает главным образом не в полости желудка, а прямо на поверхности выстилающих его клеток (так называемое «мембранное пищеварение»). Огромное количество специальных выростов — микроскопических ворсинок — обеспечивает быстрое переваривание и очень полное всасывание пищи. При переводе детей на смешанное вскармливание роль полостного гидролиза постепенно увеличивается.

Дальнейшее развитие секреторной активности желудка протекает весьма медленно и в большой мере зависит от характера питания, т.е. от режима, этнических и семейных традиций. Различия между мальчиками и девочками начинают проявляться в возрасте около 8 лет, причем у мальчиков в 10, а у девочек в 9 лет наблюдается напряжение желудочного пищеварения, и этот возраст является переломным моментом в становлении желудочной секреции. У подростков 13—14 лет активность желудочных ферментов резко падает. Причины этого явления не вполне ясны, хотя очевидно, что здесь сказывается влияние процессов полового созревания. К 16—17 годам секреция желудочных желез и активность ферментов подростка достигают уровня взрослого человека. Следует отметить, что уже в детском и подростковом возрасте повышенная и пониженная кислотность желудочного сока становятся весьма распространенным явлением: только 1/3 детей обладают нормальной кислотностью. Это говорит о наличии устойчивых типов желудочной секреции уже в детском возрасте, что необходимо учитывать при организации режима питания детей. Здесь следует проявлять больше гибкости и согласовывать действия взрослых (родителей и воспитателей) с запросами самого ребенка.

Моторная функция желудка. Важной составной частью функции желудочно-кишечного тракта является его способность продвигать пищевой комок в направлении от ротового к анальному отверстию. Эвакуация переваренной пищи из желудка необходима как для дальнейшей ее обработки ферментами и всасывания питательных веществ, так и для освобождения желудка в ожидании следующей порции пищи. Первые автоматические движения кишечника у эмбрионов человека отмечаются уже на 7-й неделе внутриутробного развития. Для изучения моторной функции желудка используется наружная электрогастрография, позволяющая записывать биотоки желудка с поверхности тела.

У доношенных новорожденных регистрируется низкая амплитуда электрогастрограммы. На первом году жизни величина потенциалов электрогастрограммы существенно нарастает, достигая максимальных значений у детей 1—3 лет, затем в возрасте от 3 до 7 лет снижается и остается стабильной у детей старше 7 лет. Частота перистальтических сокращений у новорожденных детей также оказывается наименьшей, затем нарастает в течение первых 3 лет жизни и стабилизируется уже с 3-летнего возраста.

Относительная гиперкинезия желудочно-кишечного тракта у детей от 1 года до 3 лет, т.е. в период перехода на смешанное и дефинитивное питание, может иметь важное функциональное значение. Активные сокращения желудка могут способствовать механической обработке пищи. Перемешивание улучшает условия всасывания, а также активизирует процессы пристеночного пищеварения, которое в этом возрасте играет еще очень важную роль.

Нейрогуморальная регуляция пищеварения. Моторная функция желудочно-кишечного тракта регулируется в основном нервными влияниями, причем существенную роль в этом играет мозжечок. Возбуждающие и тормозящие импульсы от мозжечка передаются по блуждающим и чревным нервам. В раннем онтогенезе постепенно усиливаются тормозные влияния нервных центров, а пороги раздражения снижаются. Иными словами, моторная функция желудочно-кишечного тракта по мере развития испытывает все большее влияние центральных контролирующих структур.

Управление процессами желудочного пищеварения осуществляется сложным механизмом нейрогуморальной регуляции. Большое значение придается гормону пищеварения — гастрину, который секретруется особыми клетками слизистой оболочки желудка и верхних отделов тонкого кишечника. Секретция гастрина возбуждается ингредиентами пищи, щелочами, механическим растяжением выходного отдела желудка, холинэргической нервной импульсацией, а тормозится соляной кислотой. Последнее обстоятельство имеет важное значение для саморегуляции желудочного кислотовыделения. Гастрин регулирует кислотность желудочного сока, стимулирует секрецию пепсина, а также деятельность

поджелудочной железы. Содержание гастринина в крови у детей намного больше, чем у взрослых, причем сильнее всего снижение выделения гормона происходит уже в подростковом возрасте. Это связано с возрастным увеличением чувствительности тканей к гастрину, поэтому его требуется меньше для достижения того же эффекта.

Поджелудочная железа. В период до 8 лет поджелудочная железа у детей имеет относительно более крупные размеры, чем у взрослых. Возможно, это связано с относительно высокой потребностью детей в углеводах и толерантностью к ним, ведь гормон поджелудочной железы *инсулин* определяет способность всех клеток тела усваивать глюкозу из крови. Однако в качестве пищеварительной железы поджелудочная синтезирует многокомпонентный *панкреатический сок*, поступающий по специальному протоку в двенадцатиперстную кишку, т.е. в самый верхний отдел кишечника.

Около 72 % от общего количества белков панкреатического сока составляют *протеолитические* ферменты, т.е. ферменты, предназначенные для переваривания белков. Протеолитическая активность секрета поджелудочной железы уже в первые месяцы жизни ребенка находится на довольно высоком уровне, который постепенно еще увеличивается, достигая максимума в 4—6 лет. *Липолитическая* активность (способность переваривать жиры) также увеличивается к концу первого года жизни и остается высокой до 9-летнего возраста. *Амилолитическая* активность (способность переваривать углеводы) от рождения до годовалого возраста увеличивается в 3—4 раза, а максимальных значений достигает в возрасте 6—9 лет. Активность панкреатических ферментов при рождении и их дальнейшая динамика сильно зависят от условий существования организма и имеют адаптивный характер.

Печень — центральный орган *межуточного* метаболизма и продуцент важного пищеварительного сока — желчи. Относительная величина массы печени постепенно снижается с возрастом. Это снижение является одним из факторов возрастного снижения интенсивности энергетического обмена, поскольку интенсивность окислительного обмена в печени выше, чем во всех других тканях организма.

Пищеварительная функция печени состоит в выработке желчи — комплекса ферментов, предназначенного для эмульгирования жиров, входящих в состав пищи. Только после того, как жиры превратятся в эмульсию — некое подобие раствора, на них может подействовать фермент липаза, который должен расщепить молекулу жира на глицерин и жирные кислоты. Всасывание нерасщепленных молекул жира в кровь или лимфу невозможно.

Для каждого акта пищеварения требуется довольно значительное количество желчи. Она вырабатывается непрерывно, но не поступает сразу в двенадцатиперстную кишку, а собирается вна-

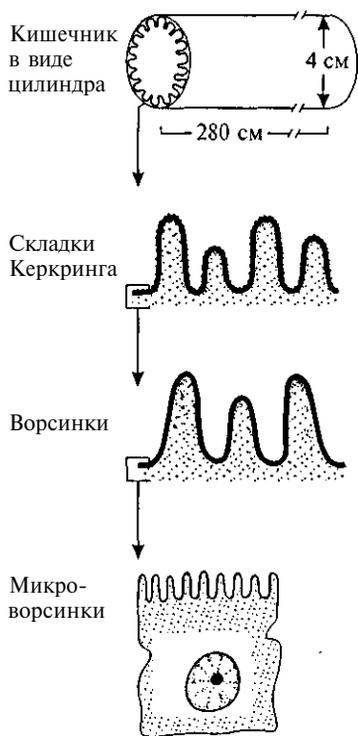


Рис. 15. Морфология слизистой оболочки кишечника

Кишечное пищеварение. В тонком кишечнике продолжается процесс переваривания пищи, причем здесь же и происходит всасывание многих продуктов гидролиза белков, жиров и углеводов. Этому способствует анатомическое устройство кишечника (рис. 15). У взрослого человека внутренняя поверхность кишки имеет многочисленные складки и достигает $0,7 \text{ м}^2$. При этом на каждом квадратном сантиметре поверхности находится 2—3 тыс. ворсинок, которые увеличивают площадь поверхности до $4\text{--}5 \text{ м}^2$, что в 2—3 раза превышает поверхность тела человека. Каждая из ворсинок покрыта еще множеством микроворсинок, что многократно увеличивает общую поверхность всасывания. С возрастом существенно изменяется анатомическая длина тонкого и толстого кишечника, а также относительные величины этих показателей. Наиболее интересны изменения длины кишечника по отношению к длине туловища: максимальная величина этого показателя регистрируется у детей 1—4 лет, т.е. в период перехода на смешанное и взрослое питание. В этот же возрастной период у детей наиболее развито пристеночное пищеварение, для которого важна площадь внутренней по-

чале в желчном пузыре, который анатомически входит в состав печени. Выброс накопившейся там желчи зависит от характера пищи и происходит после того, как пищевой комок достиг начального отдела тонкого кишечника. Емкость желчного пузыря ребенка в возрасте до 3 мес равна $3,2 \text{ см}^3$, в 1—2 года — $8,5 \text{ см}^3$, в 6—9 лет — $33,6 \text{ см}^3$, у взрослых — $50\text{--}65 \text{ см}^3$. С возрастом увеличивается способность желчного пузыря концентрировать желчь. Это, отчасти, связано и с тем, что скорость опорожнения пузыря в детском возрасте выше.

Печень ребенка выделяет желчь с самого первого дня после рождения. Следует учесть, что пища ребенка этого возраста на 100% состоит из высокодиспергированного продукта — молока, содержащего эмульгированный жир. У здорового взрослого человека в сутки выделяется от 500 до 1200 мл желчи, т.е. 10—11 мл/кг массы тела. У подростков объем выделяемой желчи мало отличается от взрослых.

верхности тонкой кишки. Относительная длина толстого кишечника в отличие от таковой тонкого кишечника продолжает увеличиваться у детей вплоть до достижения ими взрослости, что, вероятно, связано с увеличением грубых, трудно перевариваемых видов пищи в рационе человека с возрастом.

Возрастные особенности пищеварительной функции кишечника человека изучены мало, что связано с очевидными трудностями методического характера. Тем не менее многочисленные исследования, проведенные на высших животных, позволяют представить себе общую картину онтогенеза кишечного пищеварения.

В раннем постнатальном онтогенезе млекопитающих, когда единственной пищей является материнское молоко, секреция основных ферментов, обеспечивающих пищеварение в желудке и кишечнике, находится на очень низком уровне. Естественно, это ограничивает возможности полостного пищеварения. По мнению академика А. М. Уголева, для усвоения молока в этот период вполне достаточно пристеночного пищеварения. При переходе от молочного питания к дефинитивному меняется не только набор ферментов, но и их распределение вдоль кишечной трубки. На фоне смешанного питания формируются новые взаимоотношения между полостным и пристеночным пищеварением, которые, по-видимому, могут меняться в зависимости от характера пищи. В онтогенезе человека соответствующие изменения происходят в течение первых 6—12 мес в после рождения.

Процессы возрастного развития всасывательной функции кишечника слабо изучены. Известно, что как сахара, так и аминокислоты способны транспортироваться через кишечную мембрану уже у плодов, у новорожденных эта способность быстро нарастает, достигая высоких значений через несколько дней после рождения. Липиды всасываются в слизистой кишечника в раннем постнатальном периоде сильнее, чем у взрослых. Также более интенсивно в раннем возрасте происходит всасывание некоторых витаминов (например, B_{12}). Физиологический смысл этих особенностей кишечного пищеварения в раннем возрасте очевиден.

В толстом кишечнике всасывается главным образом вода, и формируются каловые массы. Однако в ограниченном количестве здесь может всасываться глюкоза. Иногда этим пользуются в лечебных целях (клизмы). Разнообразные расстройства кишечника, вызванные кишечными бактериями или вирусами, резко снижают проницаемость толстого кишечника для воды, и в результате образуются жидкие испражнения. В некоторых случаях (дизентерия, холера) это может приводить к тяжелому обезвоживанию организма и опасно для жизни.

Для детей характерна повышенная проницаемость кишечной стенки. Из-за этого иногда в кровь попадают нерасщепленные бел-

ковые молекулы, которые могут вызывать иммунный ответ организма. Отсюда частое проявление кожных аллергических реакций и разного рода токсикозов у детей до 7—8 лет в ответ на поступление в организм тех или иных видов пищи. В частности, детям раннего возраста не рекомендуется употреблять цитрусовые и другие экзотические фрукты, ибо они нередко вызывают аллергические реакции. Любопытно, что в теплых странах (например, в США), где цитрусовые распространены особенно широко, врачи не рекомендуют давать детям яблочный сок по той же причине. Из этого примера ясно, что сенсбилизация (возникновение чувствительности к тому или иному веществу) к тем или иным аллергенам в большой мере зависит от местных условий и является не врожденной, а адаптивной реакцией.

Как и желудок, кишечник по всей своей длине имеет гладкомышечный слой, обеспечивающий его периодические спастические сокращения — перистальтику. Эти сокращения, происходящие каждые 5—6 с, способствуют лучшему перевариванию и всасыванию пищевых веществ, а также продвижению пищевого комка в одном направлении. У детей перистальтика кишечника выражена слабее, чем у взрослых, в том числе — из-за меньшего развития мускульного слоя кишки.

Рвотный рефлекс. Механическое или химическое раздражение слизистой желудка или тонкого кишечника может привести к рвоте. Это защитный рефлекс, позволяющий организму избавиться от причины, вызвавшей раздражение. Некоторые запахи и вкусовые ощущения также могут приводить к рвоте: обычно это бывает связано с предыдущими предьявлениями данного раздражителя и протекает по механизму условного рефлекса. Центр рвоты находится в продолговатом мозге, и его раздражение может быть также следствием алкогольного отравления или перевозбуждения вестибулярного аппарата (укачивание). Рвотный рефлекс реализуется как сильные перистальтические сокращения кишечника, желудка и пищевода в обратном направлении. Эти сокращения гладких мышц пищеварительного тракта сочетаются с рефлекторными резкими сокращениями поперечно-полосатых мышц брюшной стенки и диафрагмы. В результате содержимое верхнего отдела кишечника и желудка выбрасывается через рот наружу. Это порой спасает организм от тяжелого отравления. Рвоту можно вызвать искусственно, механически раздражая рефлексогенную зону — корень языка. Отвары некоторых трав обладают рвотным действием, что используется для промывания желудка в случаях отравления (обычно в сочетании с содовым раствором). В процессе рвоты важно следить, чтобы рвотные массы не попали в дыхательные пути. У грудных младенцев часто после кормления бывает срыгивание части полупереваренного молока, которое по механизму мало отличается от рвоты. По этой причине ребенка нельзя укла-

дывать в постель сразу после кормления, необходимо некоторое время подержать его на руках в вертикальном положении или в наклонной позе затылком вверх. В такой позиции срыгнутое молоко не попадет в дыхательные пути. Если же ребенка сразу после кормления положить на спину, то он может захлебнуться своей отрыжкой. Это одна из наиболее распространенных причин внезапной смерти младенцев первых месяцев жизни.

Выделительная система

Метаболические процессы, происходящие в каждой клетке, наряду с образованием полезных, нужных клетке и организму веществ, наряду с производством энергии и выполнением физиологических функций, приводят к образованию отработанных продуктов и шлаков, которые необходимо удалить из организма. В самых больших количествах в результате окислительных реакций образуются вода и углекислый газ. Поступая из работающих клеток в кровь, углекислый газ соединяется с гемоглобином либо просто растворяется в плазме и переносится с током крови к легким, где выбрасывается из организма в процессе дыхания. Небольшая часть метаболической воды (т.е. воды, образовавшейся в результате внутриклеточных биохимических реакций) также выходит из организма через легкие, поскольку выдыхаемый воздух всегда насыщен парами воды. Однако большая часть воды, а также другие — негазообразные — вещества, подлежащие удалению, выводятся из организма иным путем. Некоторая их часть (иногда довольно значительная) выводится в виде пота — особенно при тяжелой и длительной мышечной работе, а также в условиях жары. Но все же большая часть (до 80 %) метаболической воды и растворенных в ней конечных продуктов обмена выводится через почки.

Почки в организме человека являются полифункциональным органом. Они не только выводят лишнюю воду, соли, мочевину и другие ненужные вещества из организма, но также обеспечивают постоянство (*гомеостаз*) концентрации осмотически активных веществ (*осморегуляция*), объема жидких сред организма (*волюмомо-регуляция*), концентрации отдельных ионов (*ионорегуляция*) и кислотно-щелочное равновесие. Кроме того, почки вырабатывают некоторые гормоны и другие биологически активные вещества, участвующие в регуляции обменных процессов в организме.

Развитие почки как органа. Почки формируются на весьма ранних стадиях развития. Уже на 9-й неделе внутриутробной жизни почки плода начинают функционировать. Изменение потребления воды и солей матерью вызывает адекватное изменение почечной функции у плода. К моменту рождения масса почек у

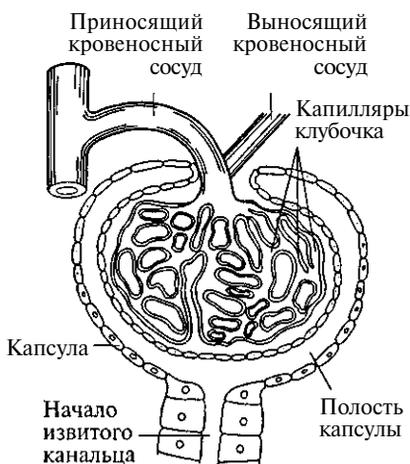


Рис. 16. Схема строения нефрона

кровеносные сосуды. Кровь приносит с собой воду и растворенные в ней продукты, подлежащие удалению. В ткани почек кровеносные сосуды многократно разветвляются и превращаются в тончайшие капилляры, которые сворачиваются во множество клубочков. Каждый такой клубочек окружен специальной почечной капсулой, в которой собирается первичная моча. Из капсулы выходит извитой каналец, по которому моча продвигается от клубочка в сторону лоханки. Каналец оплетен кровеносными капиллярами, тесно соприкасающимися со стенками извитого канальца. Капилляры соединяются в более крупные сосуды (венулы) и впадают в почечную вену, которая и выносит из почек уже очищенную кровь. Капилляры вместе с капсулой и почечным канальцем представляют собой единое анатомо-физиологическое устройство, которое называется *нефрон* (рис. 16). Таких нефронов в каждой почке около 1 млн. Общая длина почечных трубочек, по которым проходит жидкость в процессе их работы, достигает 130 км.

Кровь поступает в капиллярную сеть нефрона под большим давлением. Стенки капилляров не пропускают кровяные клетки, зато жидкая фракция крови почти полностью выходит в полость капсулы. Так образуется первичная моча, которая практически не отличается по составу от плазмы крови. За сутки ее образуется около 170 л. Очевидно, что выделение такого количества жидкости из организма невозможно. Поэтому вслед за клубочковой фильтрацией наступает другой этап работы почек — реабсорбция, т.е. возврат в кровь воды и целого ряда нужных организму веществ. Эти процессы протекают в месте плотного соприкосно-

детей составляет примерно 50 г, или 0,66 г на 100 г массы тела. Почки новорожденного имеют дольчатое строение, которое обычно исчезает к 2—5 годам. Наиболее интенсивный рост наблюдается в первые 1,5—2 года жизни, в 8—10 и 14—18 лет. К 22—25 годам почки достигают веса 270 г (0,45 % от массы тела). К 5—6 годам иннервация почек у детей соответствует таковой у взрослых.

Механизм работы почек.

К почкам — парному бобовидному органу, расположенному с двух сторон от позвоночника в поясничном отделе брюшной полости, — подходят крупные

вения капилляров с почечным извитым канальцем. Сначала капилляры вновь набирают утерянную в процессе фильтрации воду, а потом происходит выравнивание концентраций одних солей и метаболитов и повышение концентрации других, которые подлежат выделению. Клетки почек тратят на эту работу довольно значительное количество энергии. В результате моча сильно концентрируется, и ее объем достигает 1,5–2 л в сутки. По мочеточнику готовая моча поступает в мочевой пузырь.

Возрастные особенности выделительной функции. Важным условием эффективной деятельности почек является адекватный уровень их кровоснабжения. В условиях покоя у новорожденных в почки поступает всего 5 % минутного объема крови, тогда как у взрослых — 20–25 %. Значительное увеличение почечного кровоснабжения наблюдается в течение 8–10 нед после рождения. Уже к 3-му году жизни суммарный почечный кровоток практически достигает уровня взрослого человека.

Новорожденные при любом водном режиме выводят гипотоническую (малоконцентрированную) мочу. В основе низкой концентрирующей способности их почек лежат: 1) морфологическая незрелость почек; 2) положительный азотистый баланс; 3) нечувствительность почек к антидиуретическому гормону. При искусственном вскармливании коровьим молоком, содержащим больше солей и белков по сравнению с женским, концентрирующая способность развивается раньше, чем при грудном питании.

Из-за сниженной способности концентрировать мочу ребенок затрачивает примерно вдвое больше воды, чем взрослый, на выведение одного и того же количества осмотически активных веществ. Вместе с высокими потерями воды через кожу и легкие это создает известную напряженность водного баланса ребенка. При грудном вскармливании эта напряженность выражена меньше, чем при вскармливании коровьим молоком. Замена женского молока эквивалентным количеством коровьего увеличивает нагрузку на почки в 4,5 раза. Соответственно, возрастает и потребность в воде. Способность к реабсорбции у детей раннего возраста снижена по сравнению со взрослыми. Так, канальцевая реабсорбция жидкости у новорожденных составляет 78–89 %, а у взрослых — 98–99,5 %.

Созревание осморегулирующих механизмов у человека проходит несколько этапов, наиболее важные вехи на этом пути — возраст 7–8 мес, 2–3 года и 10–11 лет. Тем не менее относительная напряженность водно-солевого обмена, особенно в экстремальных ситуациях, отмечается в течение всего периода детства.

Регуляция кислотно-щелочного равновесия. Почки участвуют в поддержании кислотно-щелочного равновесия благодаря способности секретировать водородный ион, выделяя кислую мочу (рН менее 4,4). Ребенок уже с первых дней жизни может выделять кислую мочу, однако эта способность у него ниже, чем у взрослого.

Так, почка взрослого выводит за 8 ч 20 % от общего количества введенной кислоты, а детская — только 10 %. Однако в норме почки ребенка способны удовлетворительно поддерживать это равновесие, особенно при грудном вскармливании.

Возрастные особенности водно-солевого обмена. Формирование гомеостатических функций почек отражает их способность к сохранению водно-солевого баланса организма, который определяется количеством жидкости в различных средах, их ионным составом, осмолярностью и кислотно-щелочным равновесием.

Наиболее распространенным и важным соединением в организме человека является вода. В водной среде осуществляются все химические, обменные и транспортные процессы, она служит универсальным растворителем продуктов питания и обмена. На долю жидкости приходится 58—80 % массы тела.

К моменту рождения ребенка содержание воды в организме составляет 75—80 % его массы и зависит от степени зрелости. У недоношенных количество жидкости больше в связи с незрелостью регуляторных механизмов, повышенной гидрофильностью тканей и незначительным содержанием жира. С возрастом относительное количество ее уменьшается, особенно интенсивно в первые годы жизни. К 3—5 годам общее количество жидкости (в %) достигает уровня взрослого человека (табл. 7).

Таблица 7

Возрастные особенности содержания и распределения жидкости в организме (в % от массы тела)

Возрастной период	Общее содержание внеклеточного и внутриклеточного секторов	Водный сектор			
		сосудистый	интерстициальный	внеклеточный	внутриклеточный
Эмбриональный	85-97	—	—	58	27
Новорожденности	70-80	5-6	35-45	40-50	30
Грудной	65-70	5	30	35	35
1-5 лет	62-70	5	15	22-30	35-40
Старше 5 лет	60-70	5	15-17	20-24	40-45

Вода в организме находится в трех секторах (рис. 17): сосудистом (плазма крови), интерстициальном (межтканевая жидкость) и внутриклеточном (клеточная плазма). Распределение жидкости в них зависит от возраста (см. табл. 7). По мере развития организма относительный объем внеклеточной жидкости уменьшается главным образом за счет интерстициального пространства, а внутри-

клеточный сектор возрастает в основном благодаря увеличению количества клеток.

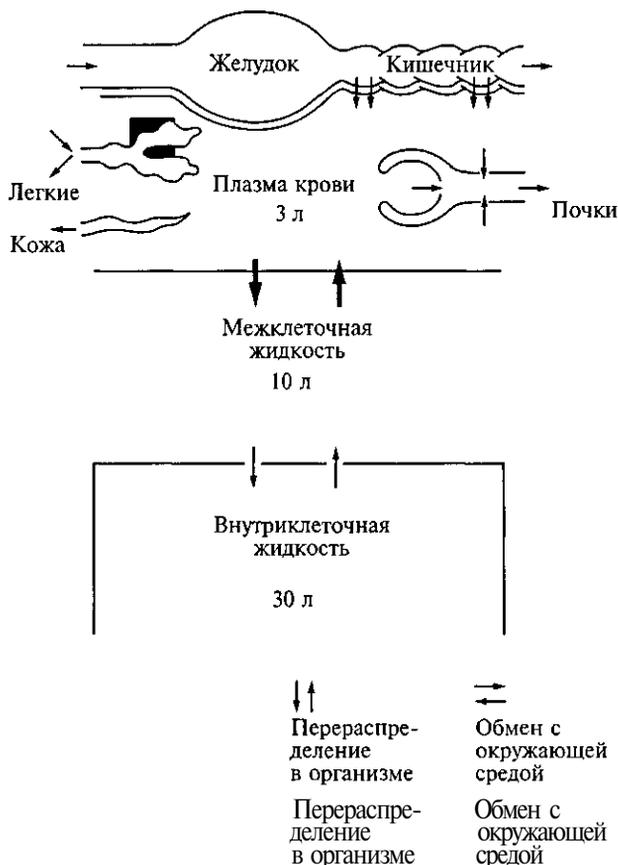


Рис. 17. Схема жидкостных пространств организма. Представлены округленные значения для человека массой 70 кг

Несмотря на то что в раннем возрасте на единицу массы тела приходится больше воды, детский организм существенно хуже взрослого противостоит потерям жидкости. Такое напряжение водного баланса в определенной степени связано с тем, что у детей интенсивность обмена веществ и площадь поверхности тела, приходящиеся на единицу массы, относительно больше, чем у взрослых. В результате этого потери воды через легкие и кожу у новорожденных в 2 раза превышают аналогичные потери у взрослых.

С возрастом изменяется и количество жидкости, экскретируемой почками. Хотя абсолютная скорость мочеотделения увеличивается, однако в расчете на 1 кг массы тела (или другую стандартную величину) наблюдается снижение суточного диуреза с 90—110 мл/кг у новорожденных до 60—80 мл/кг в 2—3 года и 20—30 мл/кг у взрослых. На выведение одного и того же количества органических и неорганических веществ новорожденные дети

трачивают в 2—3 раза больше воды, чем взрослые. Именно это обстоятельство и диктует повышенную потребность ребенка в воде. Общий баланс воды у детей и взрослых представлен в табл. 8.

У детей по сравнению со взрослыми существенно выше суточный обмен воды. У новорожденных он составляет примерно половину объема внеклеточной жидкости (700 мл из 1400 мл), тогда как в зрелом возрасте — 1/7 (200 из 1400 мл). Кроме того, у детей фиксированный резерв жидкости весьма мал, вода более подвижна в связи с недоразвитием соединительной ткани. У новорожденных и грудных детей не развито чувство жажды, что также обуславливает их склонность к обезвоживанию.

В целом у детей водный обмен характеризуется высокой лабильностью и напряженностью, а при патологических состояниях значительно быстрее, чем у взрослых, развиваются его нарушения.

Таблица 8

Общий баланс воды (в мл на 1 кг массы тела) у детей и взрослых
(по Ю. Е. Вельтишеву, 1983)

Баланс воды	Ребенок (масса тела, кг)		Взрослый
	масса тела менее 10 кг	масса тела 10—40 кг	
Поступление воды	120-150	70-120	40-50
Потери через:			
почки	20-50	20-32	11-16
кишечник	2,5-4,0	2,4-4,0	1,3-2,7
«неосязательные»	7,5-30,0	12,0-24,0	8,0-13,0
Все потери	30,0-84,0	34,4-60,0	20,3-31,7

Регуляция водно-солевого обмена. Поддержание осмотической концентрации, ионного состава и объема жидкостей внутренней среды организма обеспечивается деятельностью специальных нейро-гормональных систем, в основе которых лежат осмо-, ионо- и волюморегулирующие рефлексы. Информационным звеном этих рефлексов являются специфические осмо-, ионо- и волюморцепторы, широко представленные в организме человека. Особое значение имеют рецепторы, локализованные в кровеносных сосудах и ткани печени, поскольку они первыми улавливают отклонения физико-химических показателей крови при всасывании воды, солей и питательных веществ из желудочно-кишечного тракта. В управлении гомеостатической деятельностью почек участвуют гипоталамус, ретикулярная формация и кора больших полушарий. Активность почки регулируется двумя гормонами гипофиза — вазопрессином и окситоцином. Наряду с этими гипофи-

зарными нейропептидами, значительную роль в регуляции почечных процессов играют минерало- и глюкокортикоиды коры надпочечников, гормоны щитовидной и паращитовидной желез, катехоламины, инсулин, эпифизарные факторы, простагландины.

В процессе онтогенеза происходит постепенное созревание различных элементов функциональной системы, регулирующей водно-солевой гомеостаз, благодаря чему увеличиваются резервные возможности организма по поддержанию водно-электролитного равновесия. Морфофункциональное развитие почек происходит в течение длительного времени. Раньше всего возникает способность системы регулировать содержание воды в организме. Поэтому уже к 7 годам детский организм достаточно эффективно устраняет избыток воды и экономит жидкость при ее недостатке. Что же касается ионной регуляции, то она формируется только к 10—11 годам. При этом у детей одного и того же календарного возраста не всегда одинаковый уровень развития функций почек. То есть у разных детей-одногодок уровень развития гомеостатической системы может соответствовать более старшему или более младшему возрасту.

Мочеиспускание. Поступающая по мочеточнику моча собирается в мочевом пузыре — гладкомышечном мешковидном органе, внутренние стенки которого выстланы эпителиальной тканью, а выход из него запирается специальным кольцеобразным мышечным сфинктером. Скопившаяся в мочевом пузыре моча растягивает его стенки и раздражает расположенные там механорецепторы. Дуга мочеиспускательного рефлекса замыкается через спинномозговой центр, расположенный в крестцовом отделе. Импульсы от спинного мозга заставляют сфинктер расслабиться, а гладкую мускулатуру стенок пузыря сократиться. В результате моча выливается наружу через мочеиспускательный канал. Однако все взрослые млекопитающие, в том числе человек, умеют сознательно управлять актом мочеиспускания. Это обеспечивается контролем со стороны коры головного мозга на основе условных рефлексов. Обычно эти рефлексы у детей формируются к 2 годам настолько прочно, что спонтанное мочеиспускание не происходит ни днем, ни ночью. Однако разного рода стрессы, переутомление, переохлаждение, нарушения сна, неправильный двигательный режим, а также чрезмерные физические и психические напряжения могут приводить к ослаблению этого рефлекса даже у детей школьного возраста вплоть до полового созревания. Тогда возникает ночное недержание мочи — *энурез*. Дети нередко очень чувствительны к этому своему «недостатку», хотя их вины в этом обычно нет. Ни в коем случае нельзя упрекать и тем более наказывать ребенка в подобной ситуации. Помочь в преодолении этого функционального нарушения могут врачи — психоневролог, уролог и невропатолог.

Вопросы и задания

1. Как закон сохранения энергии реализуется в деятельности организма?
2. Что такое биологическое окисление и как оно происходит?
3. Зачем организму энергия?
4. Назовите три основных способа получения энергии в клетке.
5. Что такое энергетический обмен и как он изменяется с возрастом?
6. Как с возрастом меняются способы терморегуляции организма?
7. Из чего состоит пища человека?
8. Сколько нужно пищи ребенку и взрослому?
9. Что такое витамины, зачем они нужны? Назовите источники витаминов,
10. Перечислите особенности пищеварения младенца.
11. Что происходит с пищей в желудке и чем желудок ребенка отличается от желудка взрослого?
12. Что происходит с пищей в кишечнике и чем кишечник ребенка отличается от кишечника взрослого?
13. Что делают и как устроены почки?
14. В чем особенность выделительной системы детей?
15. Что такое энурез и почему он возникает?

Глава 8. СИСТЕМА КИСЛОРОДНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗМА

Непрерывно идущие в каждой клетке организма окислительно-восстановительные реакции нуждаются в постоянном притоке субстратов окисления (углеводов, липидов и аминокислот) и окислителя — кислорода. В организме имеются внушительные запасы питательных веществ — углеводные и жировые депо, а также огромный запас белков в скелетных мышцах, поэтому даже сравнительно длительное (в течение нескольких суток) голодание не приносит человеку существенного вреда. А вот запасов кислорода в организме практически нет, если не считать небольшого количества, содержащегося в мышцах в форме оксимиоглобина, поэтому без его поставки человек способен выжить лишь 2—3 мин, после чего наступает так называемая «клиническая смерть». Если в течение 10—20 мин снабжение клеток мозга кислородом не восстановится, в них произойдут такие биохимические изменения, которые нарушат их функциональные свойства и приведут к скорой гибели всего организма. Другие клетки тела при этом могут и не пострадать в такой степени, но нервные клетки крайне чувствительны к недостатку кислорода. Вот почему одной из центральных физиологических систем организма является функциональная система кислородного обеспечения, и состоя-

ние именно этой системы чаще всего используется для оценки «здоровья».

Понятие о кислородном режиме организма. Кислород проходит в организме достаточно длинный путь (рис. 18). Попадая внутрь в виде молекул газа, он уже в легких принимает участие в целом ряде химических реакций, обеспечивающих его дальнейшую транспортировку к клеткам тела. Там, попадая в митохондрии, кислород окисляет разнообразные органические соединения, превращая их в конечном счете в воду и углекислоту. В таком виде кислород и выводится из организма.

Что заставляет кислород из атмосферы проникать в легкие, затем — в кровь, отсюда — в ткани и клетки, где уже он вступает в биохимические реакции? Очевидно, что существует некая сила, определяющая именно такое направление перемещения молекул этого газа. Эта сила — градиент концентраций. Содержание кислорода в атмосферном воздухе намного больше, чем в воздухе внутрилегочного пространства (альвеолярном). Содержание кислорода в альвеолах — легочных пузырьках, в которых происходит газообмен воздуха с кровью, — намного выше, чем в венозной крови. Ткани содержат кислорода гораздо меньше, чем артериальная кровь, а митохондрии содержат незначительное количество кислорода, поскольку поступающие в них молекулы этого газа немедленно вступают в цикл окислительных реакций и превращаются в химические соединения. Вот этот каскад постепенно понижающихся концентраций, отражающий градиенты усилия, в результате которых кислород из атмосферы проникает в клетки тела, и принято называть кислородным режимом организма (рис.19). Вернее, кислородный режим характеризуется количественными параметрами описанного каскада. Верхняя ступенька каскада характеризует содержание кислорода в атмосферном воздухе, который во время вдоха проникает в легкие. Вторая ступенька — содержание O_2 в альвеолярном воздухе. Третья ступенька — содер-

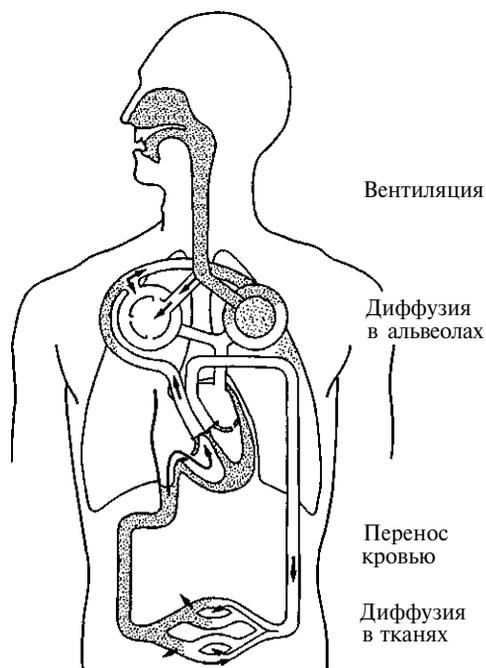


Рис. 18. Транспорт кислорода у человека (направление показано стрелками)

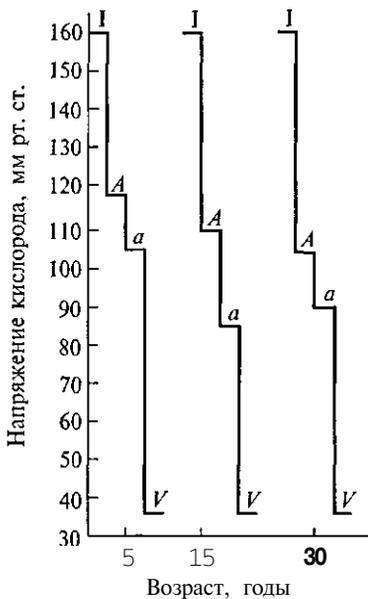


Рис. 19. Каскад напряжений кислорода во вдыхаемом воздухе (I), в альвеолах (A), артериях (a) и венах (K) у мальчика 5 лет, подростка 15 лет и взрослого 30 лет

является прямым следствием снижения с возрастом интенсивности энергетического обмена.

Таким образом, усвоение кислорода организмом происходит в три стадии, которые разделены в пространстве и во времени. Первая стадия — нагнетание воздуха в легкие и обмен газов в легких — носит еще название *внешнего дыхания*. Вторая стадия — транспорт газов кровью — осуществляется системой кровообращения. Третья стадия — усвоение кислорода клетками организма — называется *тканевым, или внутренним дыханием*.

Дыхание

Обмен газов в легких. Легкие представляют собой герметичные мешки, соединенные с трахеей с помощью крупных воздухоносных путей — бронхов. Атмосферный воздух через носовую и ротовую полость проникает в гортань и далее в трахею, после чего разделяется на два потока, один из которых идет к правому лег-

жание O_2 в артериальной крови, только что обогащенной кислородом. И наконец, четвертая ступенька — напряжение кислорода в венозной крови, которая отдала содержащийся в ней кислород тканям. Эти четыре ступеньки образуют три «пролета», которые отражают реальные процессы газообмена в организме. «Пролет» между 1-й и 2-й ступеньками соответствует легочному газообмену, между 2-й и 3-й ступеньками — транспорту кислорода кровью, а между 3-й и 4-й ступеньками — тканевому газообмену. Чем больше высота ступеньки, тем больше перепад концентраций, тем выше градиент, при котором кислород транспортируется на этом этапе. С возрастом увеличивается высота первого «пролета», то есть градиент *легочного газообмена*; второго «пролета», т.е. градиент *транспорта O_2 кровью*, тогда как высота третьего «пролета», отражающего градиент *тканевого газообмена*, снижается. Возрастное уменьшение интенсивности тканевого окис-

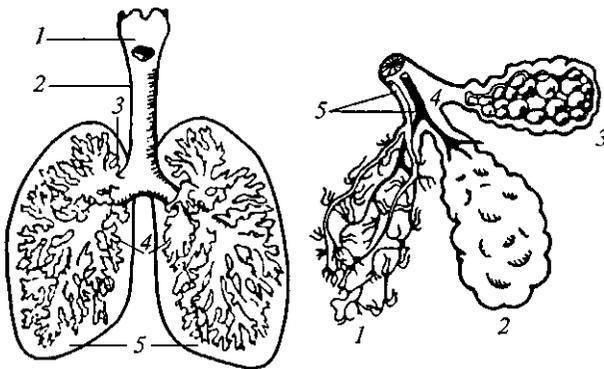


Рис. 20. Схема строения легких (А) и легочных альвеол (Б)
 А: 1 — гортань; 2 — трахея; 3 — бронхи; 4 — бронхиолы; 5 — легкие;
 Б: 1 — сосудистая сеть; 2, 3 — альвеолы снаружи и в разрезе; 4 —
 бронхиола; 5 — артерия и вена

кому, другой к левому (рис. 20). Трахея и бронхи состоят из соединительной ткани и каркаса из хрящевых колец, которые не позволяют этим трубкам перегибаться и перекрывать воздухоносные пути при различных изменениях положения тела. Войдя в легкие, бронхи разделяются на множество ответвлений, каждое из которых вновь делится, образуя так называемое «бронхиальное дерево». Самые тонкие веточки этого «дерева» называются бронхиолами, и на их концах располагаются легочные пузырьки, или *альвеолы* (рис. 21). Количество альвеол достигает 350 млн, а их общая площадь — 150 м². Именно эта поверхность и представляет собой площадь для обмена газами между кровью и воздухом. Стенки альвеолы состоят из одного слоя эпителиальных клеток, к которому вплотную подходят тончайшие кровеносные капилляры, также состоящие из однослойного эпителия. Такая конструкция благодаря диффузии обеспечивает сравнительно легкое проникновение газов из альвеолярного воздуха в капиллярную кровь (кислород) и в обратном направлении (углекислый газ). Этот газообмен происходит в результате того, что создается градиент концентрации газов (рис. 22). Находящийся в альвеолах воздух содержит относительно большое количество кислорода (103 мм рт. ст.) и малое количество углекислого газа (40 мм рт. ст.). В капиллярах, наоборот, концентрация углекислого газа повышена (46 мм рт. ст.), а кислорода понижена (40 мм рт. ст.), поскольку в этих капиллярах находится венозная кровь, собранная уже после того, как она побывала в тканях и отдала им кислород, получив взамен углекислый газ. Кровь по капиллярам протекает непрерывно, а воздух в альвеолах обновляется при каждом вдохе. Оттекающая от альве-

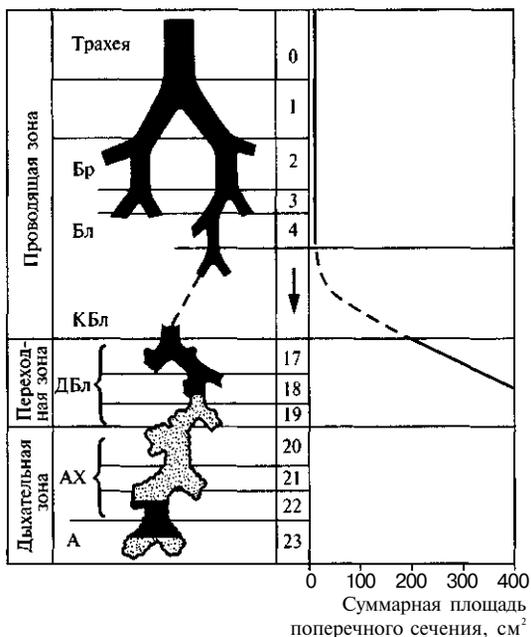


Рис. 21. Схема ветвления воздухоносных путей (слева). В правой части рисунка приведена кривая суммарной площади поперечного сечения воздухоносных путей на уровне каждого ветвления (3). В начале переходной зоны эта площадь начинает существенно возрастать, что продолжается и в дыхательной зоне. Бр — бронхи; Бл — бронхиолы; КБл — конечные бронхиолы; ДБл — дыхательные бронхиолы; АХ — альвеолярные ходы; А — альвеолы

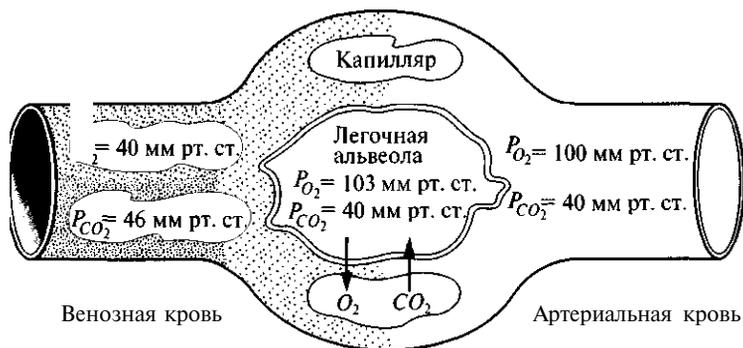


Рис. 22. Обмен газов в легочных альвеолах: через стенку легочной альвеолы O_2 вдыхаемого воздуха поступает в кровь, а CO_2 венозной крови — в альвеолу; газообмен обеспечивается разностью парциальных давлений (P) CO_2 и O_2 в венозной крови и в полости легочных альвеол

ол обогащенная кислородом (до 100 мм рт. ст.) кровь содержит сравнительно мало углекислого газа (40 мм рт. ст.) и вновь готова к осуществлению тканевого газообмена.

Чтобы мельчайшие пузырьки — альвеолы — не спадались во время выдоха, их поверхность изнутри покрыта слоем специального вещества, вырабатываемого легочной тканью. Это вещество — *сурфактант* — уменьшает поверхностное натяжение стенок альвеол. Обычно оно вырабатывается в избыточном количестве, чтобы гарантировать максимально полное использование поверхности легких для газообмена.

Диффузионная способность легких. Градиент концентраций газов по обе стороны альвеолярной стенки является той силой, которая заставляет молекулы кислорода и углекислого газа диффундировать, проникать сквозь эту стенку. Однако при одном и том же атмосферном давлении скорость диффузии молекул зависит не только от градиента, но и от площади соприкосновения альвеол и капилляров, от толщины их стенок, от наличия сурфактанта и ряда других причин. Для того чтобы оценить все эти факторы, с помощью специальных приборов измеряют диффузионную способность легких, которая в зависимости от возраста и функционального состояния человека может изменяться от 20 до 50 мл O_2 /мин/мм рт. ст.

Вентиляционно-перфузионное отношение. Газообмен в легких происходит только в том случае, если воздух в альвеолах периодически (в каждом дыхательном цикле) обновляется, а через легочные капилляры непрерывно течет кровь. Именно по этой причине остановка дыхания, как и остановка кровообращения, в равной мере означают смерть. Непрерывный ток крови через капилляры называется *перфузией*, а ритмическое поступление новых порций атмосферного воздуха в альвеолы — *вентиляцией*. Следует подчеркнуть, что воздух в альвеолах по составу весьма существенно отличается от атмосферного: в альвеолярном воздухе гораздо больше углекислого газа и меньше кислорода. Дело в том, что механическая вентиляция легких не затрагивает наиболее глубоких зон, в которых расположены легочные пузырьки, и там газообмен происходит только благодаря диффузии, а потому несколько замедленно. Тем не менее каждый дыхательный цикл приносит в легкие новые порции кислорода и уносит избыток углекислоты. Скорость перфузии легочной ткани кровью должна точно соответствовать скорости вентиляции, чтобы между этими двумя процессами устанавливалось равновесие, иначе либо кровь будет перенасыщена углекислотой и недонасыщена кислородом, либо, наоборот, углекислота будет вымываться из крови. И то и другое плохо, так как дыхательный центр, расположенный в продолговатом мозге, генерирует импульсы, заставляющие дыхательные мышцы осуществлять вдох и выдох, под воз-

действием рецепторов, измеряющих содержание CO_2 и O_2 в крови. Если уровень CO_2 в крови падает, дыхание может остановиться; если же растет — начинается одышка, человек ощущает удушье. Соотношение между скоростью кровотока через легочные капилляры и скоростью потока воздуха, вентилирующего легкие, называется вентиляционно-перфузионным отношением (ВПО). От него зависит соотношение концентраций O_2 и CO_2 в выдыхаемом воздухе. Если прибавка CO_2 (по сравнению с атмосферным воздухом) в точности соответствует уменьшению содержания кислорода, то $\text{ВПО}=1$, и это повышенный уровень. В норме ВПО составляет 0,7—0,8, т.е. перфузия должна быть несколько интенсивнее, чем вентиляция. Величину ВПО учитывают при выявлении тех или иных заболеваний бронхолегочной системы и системы кровообращения.

Если сознательно резко активизировать дыхание, делая максимально глубокие и частые вдохи-выдохи, то ВПО превысит 1, а человек вскоре почувствует головокружение и может упасть в обморок — это результат «вымывания» избыточных количеств CO_2 из крови и нарушения кислотно-щелочного гомеостаза. Напротив, если усилием воли задержать дыхание, то ВПО составит менее 0,6 и через несколько десятков секунд человек почувствует удушье и императивный позыв к дыханию. В начале мышечной работы ВПО резко изменяется, сначала снижаясь (усиливается перфузия, так как мышцы, начав сокращаться, выдавливают из своих вен добавочные порции крови), а через 15—20 с стремительно увеличиваясь (активизируется дыхательный центр и возрастает вентиляция). Нормализуется ВПО только через 2—3 мин после начала мышечной работы. В конце мышечной работы все эти процессы протекают в обратном порядке. У детей подобная перенастройка системы кислородного снабжения происходит немного быстрее, чем у взрослых, так как размеры тела и соответственно инерционные характеристики сердца, сосудов, легких, мышц и других участвующих в этой реакции структур у детей существенно меньше.

Тканевый газообмен. Кровь, приносящая к тканям кислород, отдает его (по градиенту концентрации) в тканевую жидкость, а оттуда молекулы O_2 проникают в клетки, где и захватываются митохондриями. Чем интенсивнее происходит этот захват, тем быстрее уменьшается содержание кислорода в тканевой жидкости, тем выше становится градиент между артериальной кровью и тканью, тем быстрее кровь отдает кислород, отсоединяющийся при этом от молекулы гемоглобина, которая служила «транспортным средством» для доставки кислорода. Освободившиеся молекулы гемоглобина могут захватывать молекулы CO_2 , чтобы нести их к легким и там отдавать альвеолярному воздуху. Кислород, вступая в цикл окислительных реакций в митохондриях, в конечном сче-

те оказывается соединенным либо с водородом (образуется H_2O), либо с углеродом (образуется CO_2). В свободном виде кислород в организме практически не существует. Весь образующийся в тканях углекислый газ выводится из организма через легкие. Метаболическая вода также частично испаряется с поверхности легких, но может выводиться, кроме того, с потом и мочой.

Дыхательный коэффициент. Соотношение количества образовавшегося CO_2 и поглощенного O_2 называется *дыхательным коэффициентом* (ДК) и зависит от того, какие субстраты окисляются в тканях организма. ДК в выдыхаемом воздухе составляет от 0,65 до 1. По сугубо химическим причинам при окислении жиров ДК=0,65; при окислении белков — около 0,85; при окислении углеводов ДК=1,0. Таким образом, по составу выдыхаемого воздуха можно судить о том, какие вещества используются в настоящий момент для выработки энергии клетками организма. Естественно, обычно ДК принимает какое-то промежуточное значение, чаще всего близкое к 0,85, но это не значит, что окисляются белки; скорее это результат одновременного окисления жиров и углеводов. Величина ДК тесно связана с ВПО, между ними есть почти полное соответствие, если не считать периодов, когда ВПО подвергается резким колебаниям. У детей в покое ДК обычно выше, чем у взрослых, что связано со значительно большим участием углеводов в энергетическом обеспечении организма, особенно деятельности нервных структур.

При мышечной работе ДК также может существенно превышать ВПО, если в энергообеспечении участвуют процессы анаэробного гликолиза. В этом случае гомеостатические механизмы (буферные системы крови) приводят к выбросу из организма добавочного количества CO_2 , что обусловлено не метаболическими нуждами, а гомеостатическими. Такое добавочное выделение CO_2 называют «неметаболическим излишком». Его появление в выдыхаемом воздухе означает, что уровень мышечной нагрузки достиг некоего порога, после которого необходимо подключение анаэробных систем энергопродукции («анаэробный порог»). Дети от 7 до 12 лет обладают более высокими относительными показателями анаэробного порога: у них при такой нагрузке выше частота пульса, легочная вентиляция, скорость кровотока, потребление кислорода и т. п. К 12 годам нагрузка, соответствующая анаэробному порогу, резко снижается, а после 17—18 лет не отличается от соответствующей нагрузки у взрослых. Анаэробный порог — один из важнейших показателей аэробной производительности человека, а также та минимальная нагрузка, которая способна обеспечить достижение тренировочного эффекта.

Внешнее дыхание — это проявления процесса дыхания, которые хорошо заметны без всяких приборов, поскольку воздух входит в воздухоносные пути и выходит из них только благодаря тому,

что изменяется форма и объем грудной клетки. Что же заставляет воздух проникать вглубь организма, достигая, в конечном счете, мельчайших легочных пузырьков? В данном случае действует сила, вызванная разницей в давлении внутри грудной клетки и в окружающей атмосфере. Легкие окружены соединительно-тканной оболочкой, которая называется *плеврой*, причем между легкими и плевральным мешком находится плевральная жидкость, которая служит смазкой и герметиком. Внутривнутриплевральное пространство герметично, не сообщается с соседними полостями и проходящими через грудную клетку пищеварительными и кровеносными трубами. Герметична и вся грудная клетка, отделенная от брюшной полости не только серозной оболочкой, но и крупной кольцевой мышцей — диафрагмой. Поэтому усилия дыхательных мышц, приводящие даже к небольшому увеличению ее объема во время вдоха, обеспечивают достаточно существенное разряжение внутри плевральной полости, и именно под действием этого разряжения воздух входит в ротовую и носовую полость и проникает далее через гортань, трахею, бронхи и бронхиолы в легочную ткань.

Организация дыхательного акта. Три группы мышц участвуют в организации дыхательного акта, т.е. в перемещении стенок грудной клетки и брюшной полости: *инспираторные* (обеспечивающие вдох) наружные межреберные мышцы; *экспираторные* (обеспечивающие выдох) внутренние межреберные мышцы и диафрагма, а также мышцы брюшной стенки. Слаженное сокращение этих мышц под управлением дыхательного центра, который расположен в продолговатом мозге, вызывает перемещение ребер несколько вперед и вверх относительно их положения в момент выдоха, грудина приподнимается, а диафрагма вжимается внутрь брюшной полости. Таким образом, общий объем грудной клетки существенно увеличивается, там создается довольно высокое разряжение, и воздух из атмосферы устремляется внутрь легких. В конце вдоха импульсация из дыхательного центра к этим мышцам прекращается, и ребра под силой собственной тяжести, а диафрагма в результате ее расслабления возвращаются в «нейтральное» положение. Объем грудной клетки уменьшается, там повышается давление, и лишний воздух из легких выбрасывается через те же трубки, через которые он входил. Если по каким-то причинам выдох затруднен, то для облегчения этого процесса подключаются экспираторные мышцы. Работают они и в тех случаях, когда дыхание усиливается или ускоряется под воздействием эмоциональных либо физических нагрузок. Работа дыхательных мышц, как и любая другая мышечная работа, требует затрат энергии. Подсчитано, что при спокойном дыхании на эти нужды расходуется чуть больше 1 % потребляемой организмом энергии.

В зависимости от того, связано ли расширение грудной клетки при нормальном дыхании преимущественно с поднятием ребер

или уплощением диафрагмы, различают реберный (грудной) и диафрагмальный (брюшной) типы дыхания. При грудном типе дыхания диафрагма смещается пассивно в соответствии с изменением внутригрудного давления. При брюшном типе мощные сокращения диафрагмы сильно смещают органы брюшной полости, поэтому при вдохе живот «выпячивается». Становление типа дыхания происходит в возрасте 5—7 лет, причем у девочек оно становится, как правило, грудным, а у мальчиков — брюшным.

Легочная вентиляция. Чем крупнее организм и чем сильнее работают дыхательные мышцы, тем большее количество воздуха проходит через легкие за каждый дыхательный цикл. Для оценки легочной вентиляции измеряют минутный объем дыхания, т.е. среднее количество воздуха, которое проходит через дыхательные пути за 1 мин. В покое у взрослого человека эта величина составляет 5—6 л/мин. У новорожденного ребенка минутный объем дыхания составляет 650—700 мл/мин, к концу 1 года жизни достигает 2,6—2,7 л/мин, к 6 годам — 3,5 л/мин, в 10 лет — 4,3 л/мин, а у подростков — 4,9 л/мин. При физической нагрузке минутный объем дыхания может очень существенно увеличиваться, достигая у юношей и взрослых 100 л/мин и более.

Частота и глубина дыхания. Дыхательный акт, состоящий из вдоха и выдоха, имеет две основные характеристики — частоту и глубину. Частота — это количество дыхательных актов в минуту. У взрослого человека эта величина обычно составляет 12—15, хотя она может изменяться в широких пределах. У новорожденных частота дыхания во время сна достигает 50—60 в минуту, к годовалому возрасту снижается до 40—50, затем по мере роста происходит постепенное снижение этого показателя. Так, у детей младшего школьного возраста частота дыхания составляет обычно около 25 циклов в минуту, а у подростков — 18—20. Прямо противоположную тенденцию возрастных изменений демонстрирует дыхательный объем, т.е. мера глубины дыхания. Он представляет собой среднее количество воздуха, которое поступает в легкие за каждый дыхательный цикл. У новорожденных он очень мал — всего 30 мл или даже меньше, к годовалому возрасту увеличивается до 70 мл, в 6 лет становится свыше 150 мл, к 10 годам достигает 240 мл, в 14 лет — 300 мл. У взрослого дыхательный объем в покое не превышает 500 мл. Минутный объем дыхания представляет собой произведение дыхательного объема на частоту дыхания.

Если человек выполняет любую физическую нагрузку, ему требуется дополнительное количество кислорода, соответственно увеличивается минутный объем дыхания. У детей до 10 лет это увеличение обеспечивается в основном учащением дыхания, которое может стать в 3—4 раза более частым, чем дыхание в покое, тогда как дыхательный объем увеличивается только в 1,5—2 раза. У подростков, а тем более у взрослых увеличение минутного объема

осуществляется главным образом за счет дыхательного объема, который может увеличиться в несколько раз, а частота дыхания обычно не превышает 50—60 циклов в минуту. Считается, что такой тип реакции системы дыхания более экономичен. По различным критериям эффективность и экономичность внешнего дыхания с возрастом существенно увеличивается, достигая максимальных величин у юношей и девушек 18—20 лет. При этом дыхание юношей, как правило, организовано более эффективно, чем у девушек. На эффективность дыхания и его экономичность большое влияние оказывает физическая тренированность, особенно в тех видах спорта, в которых кислородное обеспечение играет решающую роль. Это стайерский бег, лыжи, плавание, гребля, велосипед, теннис и другие виды, связанные с проявлением выносливости.

При выполнении циклической нагрузки ритм дыхания обычно «подстраивается» под ритм сокращения скелетных мышц — это облегчает работу дыхания и делает ее более эффективной. У детей усвоение ритма движений дыхательной мускулатурой происходит инстинктивно без вмешательства сознания, однако учитель может помочь ребенку, что способствует быстрой адаптации к такому рода нагрузке.

При выполнении силовой и статической нагрузки наблюдается так называемый феномен Линдгардта — задержка дыхания во время натуживания с последующим увеличением частоты и глубины дыхания после снятия нагрузки. Не рекомендуется использовать тяжелые силовые и статические нагрузки в тренировке и физическом воспитании детей до 13—14 лет, в том числе и по причине незрелости системы дыхания.

Спирограмма. Если на пути воздуха, входящего в легкие и выходящего из них, установить резиновые меха или легкий колокол, погруженный в воду, то благодаря действию дыхательных мышц это приспособление будет увеличивать свой объем при выдохе и уменьшать при вдохе. Если все соединения при этом будут герметичны (для герметизации ротовой полости используют специальный резиновый загубник или маску, надеваемую на лицо), то можно, прикрепив к подвижной части устройства пишущий инструмент, записать все дыхательные движения. Такой прибор, изобретенный еще в XIX в., называется спирограф, а сделанная с его помощью запись — *спирограмма* (рис. 23). С помощью спирограммы, сделанной на бумажной ленте, можно количественно измерить важнейшие характеристики внешнего дыхания человека.

Легочные объемы и емкости. Благодаря спирограмме можно наглядно увидеть и измерить различные легочные объемы и емкости. Объемы в физиологии дыхания принято называть те показатели, которые динамически изменяются в процессе дыхания и характеризуют функциональное состояние системы дыхания. Ем-

кость — это не изменяемый в короткое время резервуар, в рамках которого происходит дыхательный цикл и газообмен. Точкой отсчета для всех легочных объемов и емкостей является уровень спокойного выдоха.

Легочные объемы. В покое дыхательный объем мал по сравнению с общим объемом воздуха в легких. Поэтому человек может как вдохнуть, так и выдохнуть большой дополнительный объем воздуха. Эти объемы носят название соответственно *резервный объем вдоха* и *резервный объем выдоха*. Однако даже при самом глубоком выдохе в альвеолах и воздухоносных путях остается некоторое количество воздуха. Это — так называемый *остаточный объем*, который не измеряется с помощью спирограммы (для его измерения используется достаточно сложная техника и расчеты, применяются инертные газы). У взрослого человека он составляет около 1,5 л, у детей — существенно меньше.

Жизненная емкость легких. Суммарная величина резервного объема вдоха, дыхательного объема и резервного объема выдоха составляет *жизненную емкость легких (ЖЕН)* — один из наиболее важных показателей состояния системы дыхания. Для ее измерения используются разнообразной конструкции *спирометры*, в которые необходимо сделать максимально глубокий выдох после максимально глубокого

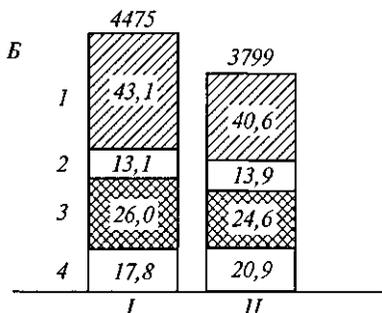
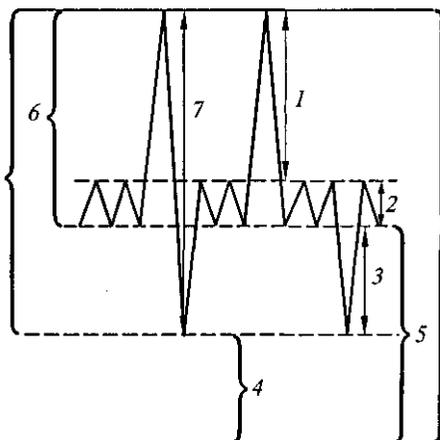


Рис. 23. Спирограмма: емкость легких и ее компоненты

А — схема спирограммы: 1 — резервный объем вдоха; 2 — дыхательный объем; 3 — резервный объем выдоха; 4 — остаточный объем; 5 — функциональная остаточная емкость; 6 — емкость вдоха; 7 — жизненная емкость; 8 — общая емкость легких;

Б — объемы и емкости легких: / — юные спортсмены; // — нетренированные школьники (средний возраст 13 лет) (по А. И. Осипову, 1964). Цифры над столбиками — средние величины общей емкости. Цифры в столбиках — средние величины легочных объемов в процентах от общей емкости; цифры слева от столбиков соответствуют обозначениям на спирограмме

вдоха — это и будет ЖЕЛ. ЖЕЛ зависит от размеров тела, а потому и от возраста, а также весьма существенно зависит от функционального состояния и физической тренированности организма человека. У мужчин ЖЕЛ выше, чем у женщин, если ни те, ни другие не занимаются спортом, особенно упражнениями на выносливость. Величина ЖЕЛ существенно различается у людей разного телосложения: у брахиморфных типов она сравнительно мала, а у долихоморфных — очень велика. Принято использовать ЖЕЛ в качестве одного из показателей физического развития детей школьного возраста, а также призывников. Измерить ЖЕЛ можно только при активном и сознательном участии ребенка, поэтому данные о детях до 3-летнего возраста практически отсутствуют.

Таблица 9

Жизненная емкость легких у детей и подростков (в мл)

Пол	Возраст, годы								
	4	5	6	7	8	10	12	15	17
Мальчики	1200	1200	1200	1400	1440	1630	1975	2600	3520
Девочки	900	1000	1100	1200	1360	1460	1905	2530	2760

Несмотря на свое название, ЖЕЛ не отражает параметров дыхания в реальных, «жизненных» условиях, так как ни при каких нагрузках человек не дышит, используя полностью резервный объем вдоха и резервный объем выдоха.

Другие емкости. То пространство легких, которое может быть занято воздухом в случае максимально полного вдоха после спокойного выдоха, называется *емкость вдоха*. Эта емкость складывается из дыхательного объема и резервного объема вдоха.

Резервный объем выдоха и остаточный объем, который никогда не может быть выдохнут, вместе составляют *функциональную остаточную емкость* (ФОЕ) легких. Физиологический смысл ФОЕ состоит в том, что она играет роль буферной зоны. Благодаря ее наличию в альвеолярном пространстве сглаживаются колебания концентраций O_2 и CO_2 в процессе дыхания. Это стабилизирует функцию легочного газообмена, обеспечивая равномерный поток кислорода из альвеолярного пространства в кровяное русло, а углекислого газа — в обратном направлении.

Общая емкость легких представляет собой сумму ЖЕЛ и остаточного объема, либо всех четырех объемов легких: дыхательного, остаточного, резервных объемов вдоха и выдоха. Общая емкость легких с возрастом увеличивается пропорционально размерам тела.

Управление дыханием. Дыхание — одна из тех функций организма, которые, с одной стороны, осуществляются автоматически, с другой — могут подчиняться сознанию. *Автоматическое дыхание*

обеспечивается *дыхательным центром*, расположенным в продолговатом мозге. Разрушение дыхательного центра ведет к остановке дыхания. Ритмически возникающие в дыхательном центре импульсы возбуждения передаются по центробежным нейронам к дыхательным мышцам, обеспечивая чередование вдоха и выдоха. Считается, что возникновение периодических импульсов в дыхательном центре обусловлено циклическими обменными процессами в нейронах, из которых состоит эта область головного мозга. Активность дыхательного центра регулируется большим числом врожденных и приобретенных рефлексов, а также импульсами от жемчужных рецепторов, контролирующих напряжение кислорода, углекислого газа и уровень рН в крови, и механорецепторов, отслеживающих степень растяжения дыхательных мышц, легочной ткани и множество других параметров. Рефлекторные дуги устроены таким образом, что завершение вдоха стимулирует начало выдоха, а конец выдоха является рефлекторным стимулом для начала вдоха.

В то же время все эти рефлексы могут быть на некоторое время подавлены за счет активности коры больших полушарий, которая может взять на себя управление дыханием. Такое дыхание называется *произвольным*. В частности, оно используется при выполнении упражнений дыхательной гимнастики, при нырянии, при попадании в условия загазованности или задымленности и в других случаях, когда требуется адаптация к редко встречающимся факторам. Однако при произвольной задержке дыхания рано или поздно дыхательный центр принимает на себя управление этой функцией и выдает императивный стимул, с которым сознание справиться не может. Это бывает тогда, когда достигнут *порог чувствительности* дыхательного центра. Чем более зрел и более физически тренирован организм, тем выше этот порог, тем большие отклонения в гомеостазе может выдержать дыхательный центр. Специально натренированные ныряльщики, например, способны задерживать дыхание на 3—4 мин, иногда даже на 5 мин — время, необходимое им для спуска на значительную глубину под воду и поиска там нужного объекта. Так, например, добывают морской жемчуг, кораллы, губку и некоторые другие «дары моря». У детей сознательное управление дыхательным центром возможно после прохождения полуростового скачка, т.е. после 6—7 лет, обычно именно в этом возрасте дети приучаются нырять и плавать теми стилями, которые связаны с задержкой дыхания (кроль, дельфин).

Момент рождения человека — это момент его первого вдоха. Ведь в утробе матери функция внешнего дыхания не могла осуществляться, а потребность в кислороде обеспечивалась за счет его поставки через плаценту из материнского организма. Поэтому, хотя к моменту рождения функциональная система дыхания в норме полностью созревает, она обладает целым рядом особенностей, связанных с актом рождения и условиями жизни в период ново-

рожденности. В частности, активность дыхательного центра у детей в этот период сравнительно низкая и неустановившаяся, поэтому нередко первый вдох ребенок делает не сразу после выхода из родовых путей, а через несколько секунд или даже минут. Иногда для инициации первого вдоха достаточно простого шлепка по ягодицам ребенка, но иногда *апноэ* (отсутствие дыхания) затягивается, и если это длится несколько минут, может перейти в состоянии *асфиксии*. Будучи достаточно типичным осложнением процесса родов, асфиксия крайне опасна своими последствиями: кислородное голодание нервных клеток может привести к нарушению их нормальной работы. Вот почему нервная ткань новорожденных гораздо менее чувствительна к недостатку кислорода и избытку кислых продуктов метаболизма. Тем не менее длительная асфиксия (десять минут) ведет к значительным нарушениям деятельности центральной нервной системы, которые могут сказываться иногда в течение всей последующей жизни.

К возрасту 2—3 лет чувствительность дыхательного центра у детей резко возрастает и становится выше, чем у взрослых. В дальнейшем она постепенно снижается, вплоть до 10—11 лет. В подростковом возрасте вновь отмечается временное увеличение чувствительности дыхательного центра, которое устраняется с завершением пубертатных процессов.

Возрастные изменения структуры и функциональных возможностей органов дыхания. С возрастом все анатомические составляющие системы дыхания увеличиваются в размерах, что и определяет во многом направленность функциональных возрастных изменений. Абсолютные характеристики анатомических просветов трахеи и бронхов, бронхиол, альвеол, общей емкости легких и ее составляющих увеличиваются приблизительно пропорционально увеличению площади поверхности тела. В то же время более высокая интенсивность метаболических, в том числе окислительных, процессов в раннем возрасте требует повышенного поступления кислорода, поэтому относительные показатели системы дыхания отражают значительно большее его напряжение у детей раннего возраста — примерно до 10—11 лет. Однако, несмотря на явно меньшую экономичность и эффективность, дыхательная система у детей работает столь же надежно, как и у взрослых. Этому благоприятствует, в частности, большая диффузионная способность легких, т.е. лучшая проницаемость альвеол и капилляров для молекул кислорода и углекислого газа.

Транспорт газов кровью

Поступивший в организм через легкие кислород должен быть доставлен к его потребителям — всем клеткам тела, находящимся

иногда на расстоянии десятков сантиметров (а у некоторых крупных животных — нескольких метров) от «источника». Процессы диффузии не способны транспортировать вещество на такие расстояния с достаточной для потребностей клеточного метаболизма скоростью. Наиболее рациональным способом транспортировки жидкостей и газов является использование трубопроводов. Человек в своей хозяйственной деятельности давно и широко использует трубопроводы везде, где требуется постоянное перемещение значительных количеств воды, нефти, природного газа и многих других веществ. Для того чтобы противостоять силе гравитации, а также преодолеть силу трения в трубах, по которым течет жидкость, человек изобрел насос. А чтобы жидкость текла только в нужном направлении, не возвращаясь обратно в момент снижения напора в трубопроводе, были изобретены клапаны — устройства, похожие на двери, открывающиеся только в одну сторону.

Совершенно так же устроена и главная транспортная система человеческого организма — система кровообращения. Она состоит из труб-сосудов, насоса-сердца и многочисленных клапанов, которые обеспечивают односторонность движения крови через сердце и не допускают обратного тока крови в венах. Разветвляясь на мельчайшие трубочки — капилляры, кровеносные сосуды доходят практически до каждой клетки, снабжая их питательными веществами и кислородом и забирая продукты их жизнедеятельности, которые нужны другим клеткам или от которых организму необходимо избавиться. Система кровообращения у млекопитающих и человека представляет собой замкнутую сеть сосудов, через которую проходит единый ток крови, обеспечиваемый циклическим сокращением сердечной мышцы. Поскольку задача кислородного обеспечения клеток стоит первой в ряду жизненно важных задач, система кровообращения высших животных и человека специально приспособлена к наиболее эффективному газообмену в воздушной среде. Это обеспечивается разделением замкнутого сосудистого трубопровода на два изолированных круга — малый и большой, первый из которых обеспечивает газообмен между кровью и окружающей средой, а второй — между кровью и клетками тела.

Малый и большой круги кровообращения (рис. 24). Артериями называются те сосуды, которые несут кровь от сердца к органам и тканям. Они имеют прочную и довольно толстую стенку, которая должна выдерживать большие давления, создаваемые работой сердца. Постепенно разветвляясь на все более мелкие сосуды — артериолы и капилляры — артерии приносят кровь ко всем тканям. Выносящие кровь из тканей сосуды называются венами. Они формируются по мере слияния и укрупнения более мелких сосудов — капилляров и венул. Вены не отличаются мощностью своих стенок и легко спадаются, если в них нет крови, поскольку им не



Рис. 24. Схема кровообращения

приходится сталкиваться с большим кровяным давлением. Чтобы ток крови не мог идти в обратном направлении, в венах имеются специальные клапаны, задерживающие кровь, если что-то заставляет ее двигаться в обратном направлении. Благодаря такой конструкции вены, протекающие через скелетные мышцы, работают в качестве дополнительных насосов: сокращаясь, мышцы выталкивают из вен кровь, а расслабляясь, позволяют новой порции крови войти в вены. Поскольку движение крови в них может быть только в одном направлении — к сердцу — такой «мышечный насос» вносит значительный вклад в кровообращение при мышечной нагрузке.

Малый круг кровообращения начинается от правого желудочка, из которого выходит легочная артерия. Практически сразу она делится на два потока — к правому и левому легкому. Достигнув легких, легочные артерии разделяются на множество капилляров, тончайшие из которых омывают отдельные легочные пузырьки (альвеолы). Именно здесь происходит обмен газами между кровью

и воздухом, находящимся в альвеолах. Для облегчения газообмена легочные капилляры состоят всего из одного слоя клеток.

В отличие от всех других артерий организма, легочные артерии несут в себе бедную кислородом и насыщенную углекислым газом кровь. Такая кровь называется «венозной», поскольку она течет в венах всего тела (за исключением легочных вен). Эта кровь уже прошла по сосудам большого круга кровообращения, отдала содержащийся в ней кислород и собрала углекислоту, от которой нужно избавиться в легких.

Выходящие из легких вены, напротив, несут «артериальную», т.е. насыщенную кислородом и практически свободную от углекислого газа кровь. Таким образом, малый круг кровообращения принципиально отличается от большого круга направлением движения насыщенной кислородом крови.

Легочные вены несут обогащенную кислородом кровь в левое предсердие. Наполнившись кровью, предсердие сокращается, проталкивая эту порцию крови в левый желудочек. Оттуда и начинается большой круг кровообращения.

Из левого желудочка выходит самый крупный в организме кровеносный сосуд — аорта. Это довольно короткая, но очень мощная трубка, способная выдерживать весьма большие перепады давлений, возникающие в процессе периодических сокращений сердца. Еще в грудной клетке аорта делится на несколько крупнейших артерий, одни из которых несут богатую кислородом артериальную кровь к голове и органам верхней части тела, а другие — к органам нижней части тела. От крупных магистральных сосудов последовательно отделяются все новые более мелкие сосуды, несущие кровь к отдельным участкам тела. Таким образом, как к головному мозгу, так и к другим важнейшим органам всегда поступает свежая, насыщенная кислородом кровь.

Единственным исключением из этого правила является печень, в которой артериальная и венозная кровь смешиваются. Однако это имеет глубокий физиологический смысл. С одной стороны, печень получает свежую артериальную кровь по печеночной артерии, т.е. ее клетки полностью обеспечиваются необходимым количеством кислорода. С другой стороны, в печень входит так называемая *воротная вена*, которая несет с собой питательные вещества, всосавшиеся в кишечнике. Вся кровь, оттекающая от кишечника, проходит через печень — главный орган защиты от разного рода токсинов и опасных веществ, которые могли всосаться в пищеварительном тракте. Мощные окислительные системы печени «сжигают» все подозрительные молекулы, превращая их в неопасные продукты метаболизма.

От всех органов кровь собирается в вены, которые, сливаясь, образуют все более крупные объединенные сосуды. Нижняя полая вена, собирающая кровь из нижней части тела, и верхняя

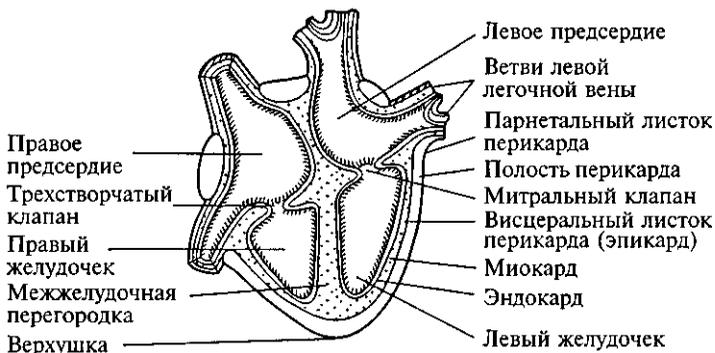


Рис. 25. Строение сердца

полая вена, в которую стекается кровь из верхней части тела, впадают в правое предсердие, а оттуда выталкиваются в правый желудочек. С этого момента кровь вновь попадает в малый круг кровообращения.

Лимфатическая система. Второй транспортной системой организма является сеть лимфатических сосудов. Лимфа практически не участвует в транспорте кислорода, но имеет большое значение для распределения по организму питательных веществ (особенно — липидов), а также для защиты организма от проникновения чужеродных тел и опасных микроорганизмов. Лимфатические сосуды по своему устройству похожи на вены, они также имеют внутри себя клапаны, обеспечивающие однонаправленный ток жидкости, но, кроме того, стенки лимфатических сосудов способны к самостоятельному сокращению («лимфатические сердца»). Не имея центрального насоса, лимфатическая система обеспечивает перемещение жидкости благодаря этим лимфатическим сердцам и сокращению скелетных мышц. На пути лимфатических сосудов, особенно в местах их слияния, образуются лимфатические узлы, выполняющие главным образом защитные (иммунные) функции. Отрицательное давление, создающееся в грудной полости при вдохе, также работает в качестве силы, толкающей лимфу по направлению к грудной клетке, где лимфатические протоки впадают в вены. Таким образом, лимфатическая система объединяется с системой кровообращения в единую транспортную сеть организма.

Сердце и его возрастные особенности. Главный насос кровеносной системы — сердце — представляет собой мышечный мешок, разделенный на 4 камеры: два предсердия и два желудочка (рис. 25). Левое предсердие соединено с левым желудочком отверстием, в створе которого располагается *митральный клапан*. Правое предсердие соединено с правым желудочком отверстием, которое закрывает *трехстворчатый клапан*. Правая и левая половины

сердца между собой не соединены, поэтому в правой половине сердца всегда находится «венозная», т.е. бедная кислородом кровь, а в левой — «артериальная», насыщенная кислородом. Выход из правого (легочная артерия) и левого (аорта) желудочков закрыт сходными по конструкции *полулунными клапанами*. Они не позволяют крови из этих крупных выходящих сосудов возвращаться в сердце в период его расслабления.

Формирование сердечно-сосудистой системы у плода начинается очень рано — уже на 3-й неделе после зачатия появляется группа клеток, обладающих периодической сократительной активностью, из которых впоследствии формируется сердечная мышца. Однако даже к моменту рождения некоторые особенности эмбрионального кровообращения сохраняются (рис. 26). Поскольку источником кислорода и питательных веществ в эмбриональном периоде являются не легкие и пищеварительный тракт, а плацента, соединенная с организмом плода через пуповину, строгого разделения сердца на две независимые половины не требуется. Кроме того, легочный кровоток еще не имеет функционального смысла, и этот участок не должен быть включен в магистральное кровообращение. Поэтому у плода имеется *овальное отверстие*, соединяющее между собой оба предсердия, а также специальный артериальный проток, соединяющий аорту и легочную артерию. Вскоре после рождения эти шунтирующие протоки закрываются, и два круга кровообращения начинают функционировать, как у взрослых.

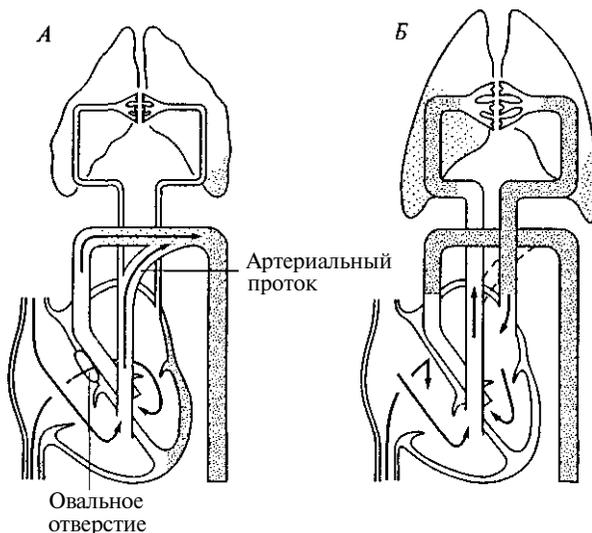


Рис. 26. А — сердце плода; Б — сердце ребенка после рождения. Стрелки показывают направление движения крови

Хотя основную массу стенок сердца составляет мышечный слой (*миокард*), там имеется несколько дополнительных слоев тканей, защищающих сердце от внешних воздействий и укрепляющих его стенки, которые испытывают огромное давление во время работы. Эти защитные слои называются *перикард*. Внутренняя поверхность полости сердца выстлана *эндокардом*, свойства которого позволяют не вредить клеткам крови во время сокращений. Расположено сердце с левой стороны грудной клетки (хотя в отдельных случаях бывает и иное его расположение) «верхушкой» вниз.

Масса сердца у взрослого человека составляет 0,5 % от массы тела, т.е. 250—300 г у мужчин и около 200 г у женщин. У детей относительные размеры сердца немного больше — примерно 0,7 % от массы тела. Сердце в целом увеличивается пропорционально увеличению размеров тела. За первые 8 мес после рождения масса сердца возрастает вдвое, к 3 годам — втрое, к 5 годам — в 4 раза, а к 16 годам — в 11 раз по сравнению с массой сердца новорожденного. У мальчиков сердце обычно несколько больше, чем у девочек; лишь в период полового созревания начавшие созревать раньше девочки имеют более крупное сердце.

Миокард предсердий значительно тоньше, чем миокард желудочков. Это и понятно: работа предсердий состоит в нагнетании порции крови сквозь клапаны в расположенный по соседству желудочек, тогда как желудочкам надо придать крови такое ускорение, которое заставит ее добраться до самых удаленных от сердца участков капиллярной сети. По этой же причине миокард левого желудочка в 2,5 раза толще, чем миокард правого желудочка: проталкивание крови по малому кругу кровообращения требует гораздо меньших усилий, чем по большому кругу.

Мышца сердца состоит из волокон, подобных волокнам скелетной мускулатуры. Однако наряду со структурами, обладающими сократительной активностью, в сердце представлена также другая — проводящая — структура, которая обеспечивает быстрое проведение возбуждения ко всем участкам миокарда и его синхронное периодическое сокращение. Каждый участок сердца в принципе способен к самостоятельной (спонтанной) периодической сократительной активности, однако в норме сердечным сокращением управляет определенная часть клеток, которая называется *водителем ритма*, или *пейсмейкером*, и расположена в верхней части правого предсердия (*синусный узел*). Автоматически вырабатываемый здесь импульс с частотой примерно 1 раз в секунду (у взрослых; у детей — значительно чаще) распространяется по *проводящей системе* сердца, которая включает *предсердно-желудочковый узел*, *пучок Гисса*, распадающийся на правую и левую *ножки*, разветвляющиеся в массу миокарда желудочков (рис. 27). Большинство нарушений ритма сердца являются следствием тех или иных поражений волокон проводящей системы.

Инфаркт (омертвение части мышечных волокон) миокарда наиболее опасен в тех случаях, когда поражаются сразу обе ножки пучка Гисса.

Сердечный цикл. Возбуждение, автоматически возникающее в синусном узле, передается на сократительные волокна предсердий, и мышцы предсердия сокращаются. Эта стадия сердечного цикла называется *систолой предсердий*. Она длится примерно 0,1 с. За это время порция крови, скопившейся в предсердиях, перемещается в желудочки. Сразу вслед за этим происходит *систола желудочков*, которая длится 0,3 с. В процессе сокращения мышц желудочков, из них под большим давлением выталкивается кровь, направляющаяся в аорту и легочные артерии. Затем наступает период расслабления (диастола), который длится 0,4 с. В это время кровь, поступившая по венам, входит в полость расслабленных предсердий.

Довольно значительная механическая работа сердца сопровождается механическими и акустическими эффектами. Так, если приложить ладонь руки к левой стороне груди, можно ощутить периодические удары, которые совершает сердце при каждом своем сокращении. Пульс (регулярные волнообразные колебания стенок крупных сосудов с частотой, равной частоте сокращений сердца) можно прощупать также на сонной артерии, на лучевой артерии руки и в других точках. Если приложить ухо или специальную трубочку для прослушивания (стетоскоп) к груди или спине, можно услышать *тоны сердца*, возникающие на последовательных этапах его сокращения и имеющие свои характерные особенности. Тоны сердца у детей не такие, как у взрослых, что хорошо известно врачам-педиатрам. Прослушивание сердца и прощупывание пульса — старейшие диагностические приемы, с помощью которых врачи еще в средние века определяли состояние пациента и в зависимости от наблюдаемых симптомов назначали лечение. В тибетской медицине длительное (десятки минут) непрерывное наблюдение за пульсом до сих пор служит основным диагностическим приемом. В современной медицине широко используются методы эхокардиографии (запись ультразвуковых волн, отраженных от тканей работающего сердца), фонокардиографии (запись звуковых волн, образуемых сердцем в процессе сокращений), а так-

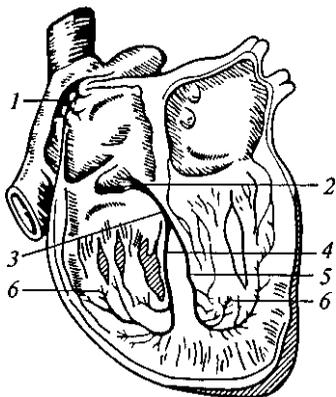


Рис. 27. Схематическое изображение проводящей системы сердца
1 — синусный узел; 2 — предсердно-желудочковый узел; 3 — пучок Гисса; 4 и 5 — правая и левая ножки пучка Гисса; 6 — концевые разветвления проводящей системы

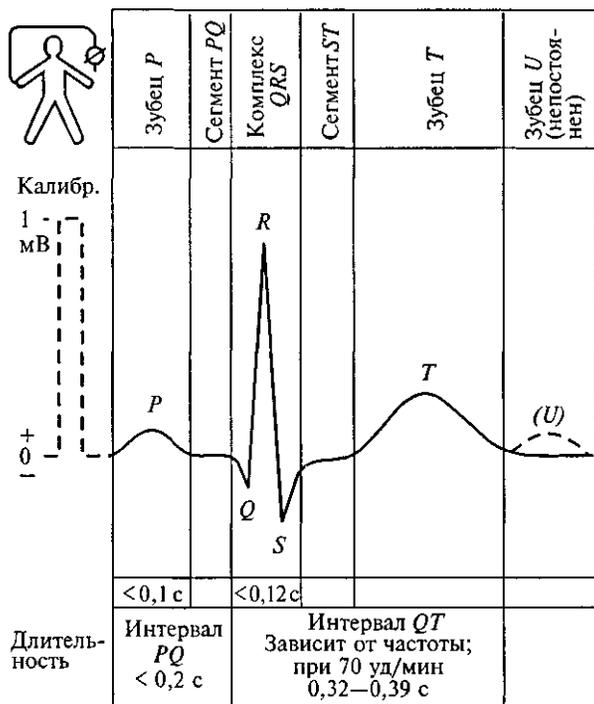


Рис. 28. Нормальная ЭКГ человека, полученная путем полярного отведения от поверхности тела в направлении длинной оси сердца

же спектральный анализ сердечного ритма (специальный прием математической обработки кардиограммы). Исследование вариабельности сердечного ритма у детей применяется, в частности, для оценки их адаптивных возможностей при учебной и физической нагрузке.

Электрокардиограмма (рис. 28). Поскольку сердце представляет собой мышцу, его работа приводит к появлению биологических электрических потенциалов, всегда сопровождающих сокращение мышц любого типа. Будучи достаточно сильными, эти сокращения вызывают мощные потоки электрических импульсов, распространяющиеся по всему телу. Напряжение тока при таких сокращениях составляет около 1 тысячной доли вольта, т.е. величину, вполне достаточную для регистрации с помощью специального потенциометра. Прибор, предназначенный для регистрации электрической активности сердца, называется *электрокардиографом*, а записываемая им кривая — *электрокардиограммой* (ЭКГ). Снять потенциал для записи ЭКГ с помощью проводящих ток электродов (металлических пластин) можно с разных участков тела. В медицинской прак-

тике чаще всего используются отведения ЭКГ от двух рук либо от одной руки и одной ноги (симметрично либо асимметрично), а также ряд отведений с поверхности груди. Вне зависимости от места отведения, ЭКГ всегда имеет одни и те же зубцы, чередующиеся в одинаковой последовательности. Места отведения ЭКГ влияют только на высоту (амплитуду) этих зубцов.

Зубцы ЭКГ принято обозначать латинскими буквами *P*, *Q*, *R*, *S* и *T*. Каждый из зубцов несет информацию об электрических, а следовательно, метаболических процессах в различных участках миокарда, на разных этапах сердечного цикла. В частности, зубец *P* отражает систолу предсердий, комплекс *QRS* характеризует систолу желудочков, а зубец *T* свидетельствует о протекании восстановительных процессов в миокарде во время диастолы.

Регистрация ЭКГ возможна даже у плодов, поскольку электрический импульс сердца плода легко распространяется по токопроводящим тканям его и материнского организма. Никаких принципиальных отличий в ЭКГ детей нет: те же зубцы, та же их последовательность, тот же физиологический смысл. Различия заключены в амплитудных характеристиках зубцов и некоторых соотношениях между фазами работы сердца и отражают, главным образом, возрастное увеличение размеров сердца и повышение с возрастом роли парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в управлении сократительной активностью миокарда.

Скорость кровотока. При каждом сокращении желудочки изгоняют всю находящуюся в них кровь. Этот объем жидкости, которая выталкивается сердцем во время систолы, называется *ударным выбросом*, или *ударным (систолическим) объемом*. Этот показатель увеличивается с возрастом пропорционально увеличению размеров сердца. Годовалые дети имеют сердце, выбрасывающее чуть больше 10 мл крови за одно сокращение, у детей от 5 до 16 лет эта величина возрастает с 25 до 62 мл. Произведение величин ударного выброса и частоты пульса показывает количество крови, проходящей через сердце за 1 мин, и называется *минутным объемом крови* (МОК). У годовалых детей МОК составляет 1,2 л/мин, к школьному возрасту увеличивается до 2,6 л/мин, а у юношей и взрослых достигает 4 л/мин и более.

При разнообразных нагрузках, когда потребность в кислороде и питательных веществах возрастает, МОК может весьма значительно увеличиваться, причем у детей младшего возраста главным образом за счет увеличения частоты пульса, а у подростков и взрослых также и за счет увеличения ударного выброса, который при нагрузке может повышаться в 2 раза. У тренированных людей сердце имеет обычно большие размеры, часто — неадекватно увеличенный левый желудочек (так называемое «спортивное сердце»), и ударный выброс у таких спортсменов может даже в покое в 2,5—3 раза превышать показатели нетренированного человека.

Величина МОК у спортсменов также бывает в 2,5—3 раза выше, особенно при нагрузках, требующих предельного напряжения окислительных систем в мышцах и соответственно транспортных систем организма. При этом у тренированных людей физическая нагрузка вызывает меньшее учащение сердечных сокращений, чем у нетренированных. Это обстоятельство используется для оценки уровня тренированности и «физической работоспособности при пульсе 170 уд/мин».

Объемная скорость кровотока (т.е. количество крови, проходящее через сердце за минуту) может быть мало связана с *линейной скоростью* продвижения крови и входящих в ее состав клеток по сосудам. Дело в том, что линейная скорость зависит не только от объема переносимой жидкости, но и от просвета трубы, по которой эта жидкость течет (рис. 29). Чем дальше от сердца, тем суммарный просвет сосудов артерий, артериол и капилляров становится все больше, поскольку при каждом очередном разветвлении суммарный диаметр сосудов увеличивается. Поэтому самая большая линейная скорость движения крови наблюдается в самом толстом кровеносном сосуде — аорте. Здесь кровь течет со скоростью 0,5 м/с. Доходя до капилляров, суммарный просвет которых примерно в 1000 раз больше площади сечения аорты, кровь течет уже с мизерной скоростью — всего 0,5 мм/с. Такой медленный ток крови через расположенные глубоко в тканях капилляры обеспечивает достаточное время для полноценного обмена газами и другими веществами между кровью и окружающими тканями. Скорость кровотока, как правило, адекватна интенсивности обменных процессов. Это обеспечивается гомеостатическими механизмами регуляции кровотока. Так, в случае избыточного снабжения тканей кислородом, капилляры сужаются, повышая периферическое сопротивление и соответственно уменьшая скорость протекания по ним крови. Напротив, если кислорода к ткани притекает мало, то в ней образуются кислые продукты обмена, и смещение рН в кислую сторону расслабляюще действует на мышцы стенок кровеносных сосудов. Их тонус снижается, сопротивление потоку крови уменьшается, и скорость кровотока возрастает. Сходным образом регулируется ток крови через участки кожи в зависимости от текущих потребностей организма: необходимости отдать избыточное тепло или удержать тепло внутри. В первом случае кожные сосуды расширяются, и кровь получает доступ в поверхностные слои кожи; во втором случае — сужаются, кожа бледнеет, что означает ограничение доставки крови в наружные слои.

Частота пульса и артериальное давление крови. Для характеристики работы сердечно-сосудистой системы чаще всего используются показатели пульса и артериального давления. У новорожденных детей частота пульса значительно выше, чем у взрослых. Даже

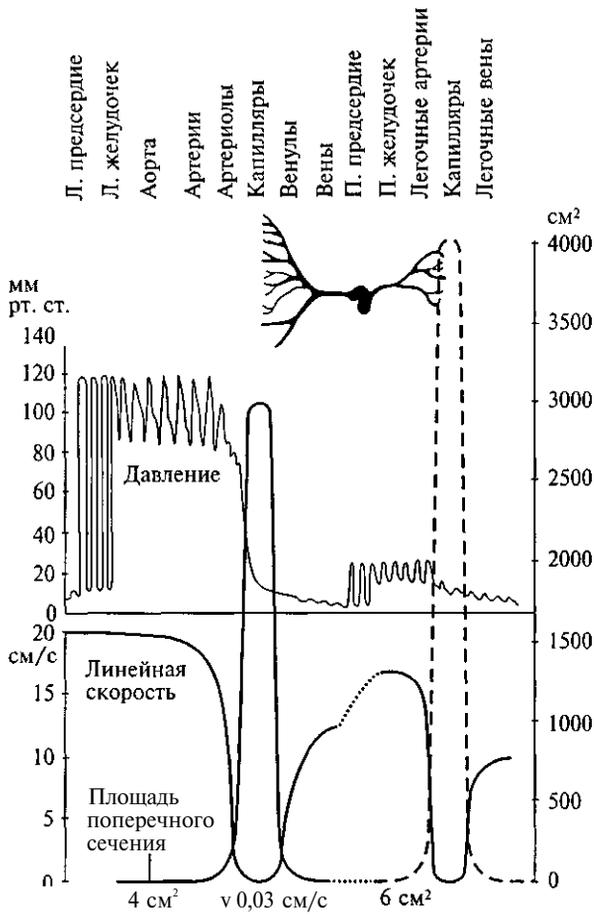


Рис. 29. Схема соотношения между площадью поперечного сечения, давлением и средней линейной скоростью кровотока в различных отделах сердечно-сосудистой системы

в условиях спокойного сна она составляет в первые месяцы жизни 130—140 уд/мин, снижаясь к концу 1 года жизни до 120 уд/мин. У детей дошкольного возраста нормальная величина пульса составляет 95 уд/мин, у младших школьников — 85—90 уд/мин. К подростковому возрасту показатель пульса снижается до 80 уд/мин, а у юношей становится таким же, как у взрослых, — 72—75 уд/мин. У мужчин частота пульса обычно несколько ниже, чем у женщин.

При каждом ударе пульса новая порция крови выталкивается в кровеносное русло. Сокращение желудочков сердца создает давление, которое волнообразно распространяется по крупным кровеносным сосудам, постепенно угасая на уровне артериол и капилляров, суммарный просвет которых во много раз больше. Эта разница

давлений является той силой, которая заставляет кровь продвигаться от сердца и магистральных сосудов к капиллярам. Стенки кровеносных сосудов — это не пассивные оболочки, сквозь которые протекает жидкость, толкаемая насосом. В стенках артерий и некоторых капилляров имеются кольцеобразные гладкие мышцы, которые управляют *тонусом сосудов*. Чем выше сосудистый тонус, тем сильнее зажаты артерии, тем большее сопротивление току крови они оказывают, тем выше артериальное давление крови. Артериальное давление необходимо для того, чтобы кровь доставлялась к головному мозгу, расположенному у человека намного выше уровня сердца. Сердцу необходимо своей сократительной силой преодолеть вес столба крови, равного расстоянию от выхода аорты до макушки. Ясно, что эта величина зависит от роста человека. У взрослого это расстояние намного больше, чем у ребенка, поэтому артериальное давление у детей существенно ниже, чем у взрослых.

Еще одна физиологическая причина, по которой артериальное давление должно быть достаточно высоким, — конструкция почки: для того чтобы произошла фильтрация первичной мочи, кровь должна входить в почку под большим давлением. Вот почему в большинстве случаев повышенное давление крови наблюдается у людей, страдающих нарушениями работы почек либо тонуса сосудов головного мозга.

Таблица 10

Возрастные показатели кровяного давления (в мм рт. ст.)

Возраст	Систолическое давление	Диастолическое давление
1 — 10 дней	60-89	30-54
11 дней — 6 мес	70-109	40-74
7 мес — 2 года	70-129	40-79
13-14 лет	106	64
15-17 лет	116	67
18—20 лет	117	69
20-30 лет	120	72
70 лет	136	78

Для измерения кровяного давления используют простой прибор, состоящий из манжеты, манометра и фонендоскопа. Манжету накладывают на плечо и нагнетают в нее воздух под контролем манометра. Манжета пережимает сосуды, проходящие вдоль плечевой кости. Когда ток крови в этих сосудах полностью прекратился, клапан манжеты потихоньку открывают и с помощью фонендоскопа на внутренней поверхности локтевого сгиба слушают характерные тоны, которые появляются только в тот момент, когда давление крови, создаваемое сердцем в момент систолы, становится достаточным (максимальным), чтобы протол-

кнуть кровь через полупережатую манжетой артерию. Величина показания манометра в момент появления первого тона называется *систолическим давлением*. По мере дальнейшего снижения давления в манжете, тоны отчетливо слышны в фонендоскоп, однако в определенный момент раздается последний тон, и больше ничего услышать не удастся. Этот момент соответствует минимальному давлению, которое имеется в артериях в момент диастолы, почему и называется *диастолическим*. Показания манометра в этот момент также регистрируются. Разница между систолическим и диастолическим давлением называется *пульсовым давлением* и косвенно характеризует величину ударного выброса.

Регионарное кровообращение и его возрастные особенности. Снабжение тканей кислородом и питательными веществами зависит в большей мере не от работы магистральных сосудов, а от того, как организовано кровообращение в той или иной ткани. Мельчайшие капилляры, доставляющие кровь к отдельным клеткам, определяют эффективность снабжения этих клеток. При этом в разных тканях имеются свои специфические, регионарные особенности организации сосудистого русла и управления током крови. Общая тенденция возрастных изменений регионарного кровообращения состоит в том, что у детей капилляризация органов и тканей носит относительно избыточный характер, количество крови (в расчете на единицу массы ткани), приносимой в ткань, обычно выше, чем у взрослых, и вся система кровоснабжения отличается сниженной экономичностью. Это обусловлено большими потребностями детей в кислороде, тканей детского организма — в питательных веществах, а также повышенной чувствительностью этих тканей к содержанию в крови продуктов клеточного метаболизма. Именно по этой причине организм затрачивает чрезмерные усилия на работу системы кровообращения, сохраняя, однако, высокую ее надежность и адекватное снабжение тканей кислородом и субстратами. Наибольший интерес представляют возрастные изменения мозгового кровообращения и периферического кровообращения в конечностях.

Мозговое кровообращение. У новорожденных общая незрелость регуляторных механизмов проявляется в нестабильности и изменчивости мозгового кровотока. При этом на протяжении всего грудного возраста отмечаются наиболее высокие показатели интенсивности кровоснабжения мозга. Очевидно, это связано с особенно высокими в это время метаболическими потребностями мозга. В период от 1 года до 5 лет интенсивность мозгового кровотока постепенно снижается, причем отмечается низкий тонус крупных артериальных сосудов и повышенный тонус мелких сосудов мозга. В возрасте 5—6 лет, на фоне полуростового скачка и множества качественных изменений в функциональных проявлениях орга-

низма, перестраивается и мозговой кровоток. Объемный кровоток снижается, т.е. кровообращение становится более экономичным. Снижается также тонус мелких сосудов, тогда как крупные сосуды приобретают более характерные для взрослых параметры тонического напряжения. Это сочетается с созреванием структуры стенок кровеносных сосудов, с этого возраста приобретающих близкие к взрослым свойства. Новая организация кровообращения в головном мозге отражает новый этап организации деятельности самого мозга: его реакции на внешние стимулы становятся менее генерализованными и более экономичными. К 9 годам значительно возрастают показатели артериального давления, и это вызывает дальнейшее увеличение тонуса сосудов мозга. С началом пубертатных перестроек тонус крупных сосудов мозга достигает наивысших значений. Это, видимо, является одной из причин довольно распространенного явления — юношеской гипертонии. В этот же период вновь резко увеличивается объемная скорость кровотока, отражая неэкономичный характер регионарного кровообращения. Однако уже к 16—17 годам ситуация нормализуется, и мозговое кровообращение юношей и девушек не отличается по своим параметрам от типичной взрослой нормы. Интересно, что с возрастом мозговой кровоток становится менее чувствительным к физической нагрузке, т.е. надежность механизмов кислородного обеспечения мозга в разнообразных условиях деятельности заметно повышается.

Периферический кровоток. За период от 3 до 7 лет интенсивность периферического кровотока снижается в 1,5 раза, а к 16 годам — еще в 4 раза. Это примерно соответствует темпам возрастного снижения интенсивности обменных процессов. Поскольку значительную долю массы конечностей составляют скелетные мышцы, важным фактором возрастных изменений периферического кровотока являются возрастные преобразования состава скелетных мышц. В раннем возрасте большая часть мышечных волокон представлена теми их типами, которые нуждаются в регулярных и значительных по объему поставках кислорода. По окончании полового созревания мышцы становятся значительно менее чувствительными к кислороду, причем у мальчиков доля таких мышечных волокон гораздо больше, чем у девочек. Периферический кровоток в плече у юношей почти в 2 раза менее интенсивный, чем у девушек. В первой фазе полового созревания, когда скелетные мышцы только готовятся к дифференцировочным процессам, заметно увеличивается их капилляризация и величина периферического кровотока временно вновь возрастает. Это сочетается с увеличением потребления кислорода мышцами в процессе работы. Кажущаяся неэффективность таких реакций объясняется потребностями тканей в энергии, необходимой для серьезных морфофункциональных перестроек. Но уже к 15 годам

ситуация нормализуется, объемная скорость кровотока снижается, капилляризация достигает обычного для взрослых уровня и вся организация периферического кровотока становится такой, как у взрослых.

Если мышцы конечностей выполняют статическую нагрузку, то после ее завершения наблюдается усиление кровотока (рабочая гиперемия). Кровоток может вырасти в этих условиях на 50—200 % в зависимости от возраста и уровня нагрузки. У юношей степень выраженности послерабочей гиперемии выше, чем у детей младшего школьного возраста, что связано с особенностями регуляции тонуса сосудов, а также с различиями в метаболических потребностях мышц.

Нейрогуморальная регуляция системы кислородного обеспечения.

Деятельность кровообращения и дыхания регулируется вегетативной нервной системой, которая представлена двумя парами нервов: блуждающими (парасимпатический отдел) и симпатическими. Блуждающие нервы берут начало в продолговатом мозге, а симпатические отходят от шейного симпатического узла. Эти две пары нервов работают по принципу противодействия: те процессы, которые ускоряются или усиливаются одним отделом, тормозятся или ослабляются другим отделом. По отношению к деятельности *кардиореспираторной системы* (как часто обобщенно называют системы кровообращения и дыхания, подчеркивая их неразрывную функциональную связь), блуждающий нерв работает как источник тормозящих влияний, а симпатический как проводник активации. Активизация блуждающего нерва тормозит ритм сердца, уменьшает силу сердечных сокращений. Симпатическая импульсация учащает ритм сердца и увеличивает силу его сокращений.

Симпатические нервные окончания повышают тонус гладких мышц в стенках кровеносных сосудов, благодаря чему сужается их просвет.

Хотя к моменту рождения ребенка в сердечной мышце достаточно хорошо представлены окончания как блуждающих, так и симпатических нервных веточек, в раннем возрасте (до 2—3 лет) в регуляции сердечной деятельности преобладают влияния симпатических нервов. Это одна из причин более высокой частоты сокращений сердца у детей этого возраста. Первые признаки влияния блуждающего нерва на сердечную деятельность наблюдаются лишь в 3—4-месячном возрасте, а формирование ваготонического звена регуляции продолжается вплоть до младшего школьного возраста.

Деятельность кардиореспираторной системы находится под контролем множества безусловных рефлексов. Тепло, холод, укол и другие раздражения вызывают в окончаниях центростремительных нервов возбуждение, которое передается в центральную нерв-

ную систему и оттуда по блуждающему или симпатическому нерву достигает сердца и других исполнительных органов. К ним относятся прежде всего дыхательные мышцы, миокард и мускулатура кровеносных сосудов, определяющая их тонус и просвет. Например, рефлекторный ответ на острое охлаждение (обливание холодной водой) — задержка дыхания и *брадикардия*, т.е. резкое снижение частоты пульса. Оба эти эффекта вызваны воздействием блуждающего нерва.

Степень растяжения легких и грудной клетки, а также полостей сердца являются мощными рефлекторными стимулами, приводящими в действие механизмы активации сокращения дыхательных мышц и миокарда. Многочисленные баро-, хемо- и механорецепторы, расположенные в сердце, сосудах, легких, полости грудной клетки, получают информацию о физических, механических и химических свойствах внутренней среды, передают ее в центры вегетативной регуляции, расположенные в стволовых отделах мозга, и замыкающиеся там рефлекторные дуги выдают управляющие сигналы, регулирующие активность исполнительных органов кардиореспираторной системы. Так осуществляется ее саморегуляция.

Центробежные нервы вегетативной системы получают импульсы не только из продолговатого и спинного мозга, но и от вышележащих отделов центральной нервной системы, в том числе от коры больших полушарий головного мозга. Поэтому сравнительно легко вырабатываются условные рефлексы, связанные с изменением функции кардиореспираторной системы. Например, вид белого халата врача или медсестры часто у ребенка сочетается с ощущением боли (от укола, прививки, бормашины и т.п.). Боль рефлекторно вызывает учащение пульса и дыхания. Условно-рефлекторная реакция на белый халат у детей часто также сопряжена с активацией симпатического отдела и подчиняющихся ему органов. Другим характерным примером условного рефлекса может служить предстартовое состояние, которое наблюдается у спортсменов, а нередко и у школьников перед началом соревнований: еще до старта учащается сердцебиение и дыхание, увеличивается вентиляция легких и минутный объем кровообращения, т.е. организм как бы подготавливает себя к предстоящей активной физической работе. В регуляции функций кардиореспираторной системы здесь непосредственную роль играют гормоны надпочечника — адреналин и норадреналин.

В норме реакции сердца, сосудов и органов дыхания на любые внешние и внутренние стимулы согласованы между собой, что обеспечивает их высокую эффективность. Однако у детей младшего возраста степень согласованности вегетативных ответов на раздражение существенно ниже, чем у взрослых. Только к 6—7 годам, к моменту завершения полуростового скачка, достигается

сравнительно высокий уровень согласованности в деятельности вегетативных функций и их соразмерность с силой действующего стимула. Именно благодаря этому обстоятельству возраст 6—7 лет является ключевым, пороговым для начала многих видов деятельности ребенка, в том числе для начала его систематического обучения. До достижения этого возраста физиологические системы организма ребенка, в том числе кардиореспираторная, функционально не готовы к разнообразным учебным и физическим нагрузкам.

Нервная регуляция деятельности кардиореспираторной системы тесно связана с гуморальной. В симпатических окончаниях нервов выделяется адреналин — тот же самый гормон, который вырабатывается мозговым веществом надпочечников. Блуждающий нерв в своих окончаниях вырабатывает *ацетилхолин*, вещество, имеющее противоположное адреналину действие на сердце, сосуды, дыхательные мышцы и т.п. На деятельность сердца, сосудов и органов дыхания влияют также другие гормоны. Так, тироксин, гормон щитовидной железы, ускоряет клеточный окислительный обмен и стимулирует увеличение активности сердца и дыхательной мускулатуры. Гормон вазопрессин, вырабатываемый гипофизом, влияет на тонус кровеносных сосудов, особенно в коже и почках. Активность мышц сердца и дыхательной мускулатуры зависит от содержания в крови солей калия (тормозящее влияние) и кальция (активирующее влияние).

Взаимосвязь нервной и гуморальной регуляции кардиореспираторной системы постепенно развивается в ходе индивидуального развития, достигая уровня первичной зрелости к возрасту 6—7 лет, но окончательно созревает только на завершающих этапах полового созревания.

Вопросы и задания

1. Что такое кислородный режим организма?
2. Почему кислород из воздуха двигается в сторону клеток?
3. Назовите транспортировки кислорода из атмосферы к клетке.
4. Что такое легочные объемы и емкости? Как их измерить?
5. Почему легочная вентиляция при физической нагрузке увеличивается?
6. Чем отличается малый круг кровообращения от большого?
7. Для чего и где расположены клапаны в сердечно-сосудистой системе?
8. Что такое электрокардиограмма?
9. Почему пульс у детей чаще, а артериальное давление ниже, чем у взрослых?
10. Какими нервами регулируется работа кровообращения и дыхания?

Глава 9. ФИЗИОЛОГИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И АДАПТАЦИИ

В процессе взаимодействия организма со средой его обитания неизбежно возникают противоречия, которые требуют более или менее срочного разрешения. Для этого существуют всего два пути: либо организм должен измениться таким образом, чтобы уменьшить негативное воздействие среды на его структуру и функции, и тогда мы говорим, что произошла *адаптация*; либо организм воздействует на среду и изменяет ее в соответствии со своими потребностями, и тогда речь идет о *деятельности*. Таким образом, адаптация и деятельность — две стратегии взаимодействия организма с окружающей его средой. Конечно, никакая деятельность невозможна без адаптации, точно так же, как многие виды адаптации включают в себя и активную деятельность. Однако эти процессы, имеющие много общих черт, физиологически организованы по-разному. Они различаются хотя бы тем, что адаптация — процесс полностью автоматизированный, происходящий без контроля сознания, а иногда даже вовсе без участия центральных нервных структур, и в этом смысле — «пассивный». В отличие от этого деятельность — всегда процесс «активный», целенаправленный, даже если он не осознается как таковой (например, инстинктивные виды деятельности). В отличие от адаптации любой вид деятельности непременно проявляется через работу скелетных мышц и перемещение в пространстве звеньев тела или предметов. Даже если это сугубо «мыслительная» деятельность, происходящая, казалось бы, только в нервных структурах, ее результаты станут видны только после того, как будут «обнародованы» словом или делом. В отличие от деятельности всех других живых существ деятельность человека гораздо активнее и разнообразнее, что ослабляет давление на него среды и позволяет минимизировать физиологические затраты на непрерывную адаптацию.

Физиология деятельности

Адаптивный смысл деятельности. Всякая деятельность адаптивна, т.е. она осуществляется ради достижения какой-то цели, которая, по мнению осуществляющего ее субъекта, поможет ограничить или вовсе исключить физиологические затраты, связанные с неизбежной в любом другом случае адаптацией. Так, например, люди, строящие дома, шьющие одежду или создающие транспортные средства, своей деятельностью предотвращают необходимость адаптации человека к изменяющимся погодным условиям, перепадам температуры, дальним перемещениям людей и гру-

зов, и т. п. Часто адаптивный смысл деятельности в человеческом обществе утрачен, поскольку он завуалирован более значимым для личности экономическим или социальным смыслом, однако вне всякого сомнения, каждый вид человеческой деятельности в своем основании несет глубокий физиологический адаптивный смысл. Первым это понял З.Фрейд, который пытался свести все многообразие проявлений человеческой психики к небольшому набору инстинктивных императивов. Однако деятельность человека в отличие от деятельности животных не только обеспечивает минимизацию адаптивных физиологических затрат, но и расширяет сферы возможного жизнеобитания, т. е. ареал распространения вида *Homo sapiens*. Животные организмы только на основе адаптивных перестроек способны осваивать новые территории, новые среды обитания. Человек делает то же самое почти безгранично, осуществляя свою деятельность. Наглядное тому подтверждение: человек, являясь наземным существом, осваивает воздушное, водное и космическое пространства и в то же время, будучи по своей биологической природе теплолюбивым существом, осваивает Крайний Север и Антарктиду.

Моделирование ситуации и уровни принятия решений. В начале деятельности человек сознательно или бессознательно обязательно создает модель той ситуации, которая сложилась к текущему моменту и вызвала необходимость совершения действий, а также той ситуации, которая возникнет после того, как действие (или комплекс действий) будет завершено. В зависимости от характера тех сигналов из внешнего мира или внутренней среды, которые привели к необходимости деятельности, в нервной системе человека могут формироваться совершенно различные по сложности и внутренней организации модели. Однако вне зависимости от этого результат деятельности всегда сопоставляется с этой моделью, и степень его адекватности модели как раз и является критерием успешности деятельности. При этом действия, подобные рефлексам, могут и не затрагивать высших нервных центров, а решения об осуществлении действия могут приниматься на периферическом уровне — скажем, на уровне спинномозговых центров. Например, если человек дотронулся до раскаленного утюга, он рефлекторно мгновенно отдергивает руку и только потом осознает, что произошло. Решения могут приниматься на уровне стволовых структур мозга, управляющих активностью вегетативных систем. Так, при недостатке кислорода в воздухе возникает возбуждение дыхательного центра, расположенного в продолговатом мозге, и человек инстинктивно пытается своими действиями устранить те причины, которые ограничивают приток кислорода (открыть дверь или окно, снимает с лица противогаз и т. п.). В более сложных ситуациях в принятие решений вовлекаются высокоорганизованные нервные центры, включая кору больших полуша-

рий. В этом случае возрастает роль умственной деятельности, поскольку принятие решений на уровне центральной нервной системы — это также одна из форм деятельности.

Умственная и мышечная деятельность: физиологические сходства и различия. Как уже было сказано, результат любой деятельности, в том числе умственной, проявляется в виде каких-то двигательных действий. Однако мы все же обычно различаем эти два вида деятельности, и это не случайно. В случае умственной деятельности основные физиологические затраты связаны с обеспечением работы нервных центров, которые составляют очень небольшую долю от массы тела человека. Весь мозг не превышает у взрослого человека 2—3 % от массы тела. По расчетам биохимиков, метаболическая активность мозга может возрастать в условиях активной деятельности в 4 раза. Это означает, что процессы метаболизма даже при самой напряженной умственной деятельности могут ускоряться примерно на 10—15 %, соответственно на эту же величину возрастает активность и всех вегетативных систем организма. Мышечная деятельность — совсем другая по своей физиологической организации. Масса мышц взрослого достигает 40 %, а в период максимальной активности их метаболическое напряжение может увеличиваться в 100 раз. Правда, практически никогда в деятельность не вовлечены все мышцы организма, и почти никогда работающие мышцы не включаются с максимальной интенсивностью. Поэтому в среднем активация метаболизма при интенсивной мышечной деятельности взрослого человека составляет 100—500 % от уровня покоя, соответственно этому активизируется функция и всех вегетативных систем.

У детей дошкольного и младшего школьного возраста соотношение физиологических затрат на умственную и мышечную деятельность несколько иное. Их мозг имеет относительно более крупные размеры, а степень вовлечения мозговых структур в решение любой задачи у них существенно выше (результат генерализации активации нервных центров). Напротив, мышцы у детей по сравнению с мышцами взрослых значительно меньше по массе (28 %) и метаболически гораздо менее активны. Поэтому в процессе умственной деятельности у детей скорость метаболизма может увеличиваться примерно на 50%, а при мышечной деятельности — не более чем в 4—5 раз (400—500 %).

Умственная и физическая деятельность различается не только по уровню метаболизма, но и по уровню и характеру вегетативно-го обеспечения.

В то же время как умственная, так и физическая деятельность характеризуются некоторыми универсальными свойствами. Во-первых, это их фазность. Любая деятельность имеет, как минимум, три фазы: *вработывания, устойчивой работы, восстановления*. Временные и вегетативные компоненты этих фаз для мышечной и

умственной деятельности существенно различаются, но само по себе их наличие принципиально важно для физиологического описания. Во-вторых, любой вид деятельности может приводить к специфическому функциональному состоянию, которое называется *утомлением*. Механизмы возникновения и способы преодоления утомления бывают весьма различны, однако в любом случае это функциональное состояние препятствует дальнейшему эффективному осуществлению деятельности. В связи с этим для полного восстановления функциональных возможностей организма после любой утомительной деятельности необходима *релаксация*. Поскольку из-за процессов утомления никакая деятельность не может продолжаться бесконечно, как в умственной, так и в мышечной деятельности принято рассматривать индивидуальные характеристики функциональных возможностей, обеспечивающих реализацию деятельности. Эти характеристики обычно объединяют под общим названием показателей *работоспособности*, хотя они могут существенно различаться по своему содержанию, сущности и способам измерения.

Как умственная, так и физическая деятельность может быть сопряжена с определенным эмоциональным фоном, который способствует либо препятствует достижению целей.

Диапазон уровней функциональной активности. При отсутствии деятельности (хотя теоретически это почти абстракция, так как бодрствующий человек практически постоянно занят какой-либо деятельностью: либо что-то мастерит, либо о чем-то размышляет) организм находится на самом низком, *базальном*, уровне своей функциональной активности. При этом организму нужно меньше всего энергии, низка в этом случае и активность вегетативных систем. Это нижняя граница *функционального диапазона* (ФД), т.е. той зоны, в которой могут находиться *уровни функциональной активности* (рис. 30). Примером этого состояния могут служить те

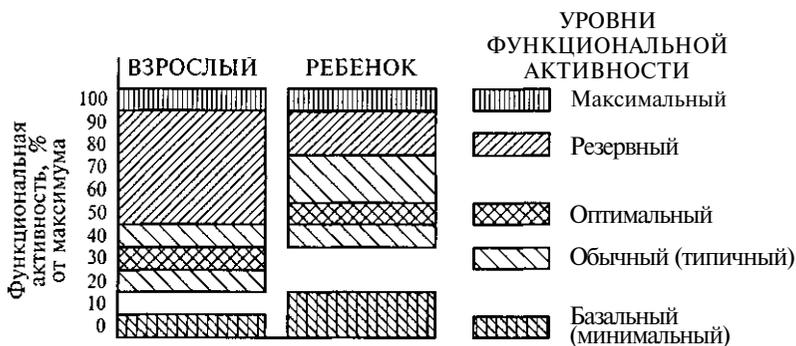


Рис. 30. Схематическое сопоставление уровней функциональной активности взрослого и ребенка

несколько минут, в течение которых человек нежится в постели после того, как проснулся, но еще не встал и не приступил к утренней гимнастике и водным процедурам. Верхняя граница ФД соответствует самому высокому уровню двигательной активности, когда человек выполняет (по своей воле или вследствие обстоятельств) очень интенсивную мышечную работу. Это *максимальный* уровень функциональной активности. Примером может служить активность спортсмена, выполняющего забег на короткую дистанцию или поднимающего штангу с рекордным весом. В бытовых ситуациях примером этого может быть напряжение человека, опаздывающего на работу и догоняющего уже закрывающий двери автобус. Однако как базальный, так и максимальный уровень функциональной активности — состояния довольно редкие, кратковременные. Большую часть жизни человек проводит в состояниях промежуточных, при которых уровень функциональной активности существенно выше базального уровня и значительно ниже максимального. Это не какой-либо постоянный уровень, это некая зона привычных, обыденных для данного человека уровней его функциональной активности. Чаще всего, при таком уровне активности наблюдается наибольшая эффективность и наименьшая вегетативная напряженность деятельности. Эта часть функционального диапазона может быть названа *зоной оптимума*. Зона, которая расположена между верхней границей зоны оптимума и верхней границей ФД, отражает *резервные возможности* организма, которые используются только в нестандартных ситуациях, когда результат деятельности намного важнее ее физиологической «цены». Человек может использовать свои резервные возможности, но эффективность деятельности в этом случае резко падает, а ее физиологическая цена соответственно возрастает.

Возрастные изменения функционального диапазона. С возрастом ФД сильно меняется как по своей величине, так и по структуре. У детей существенно выше базальный уровень функциональной активности, поскольку у них выше основной обмен. Однако уровень максимальной функциональной активности у детей намного ниже, чем у взрослых. Зона оптимума, которая у взрослых находится на уровне примерно 10 % от величины ФД, у детей младшего школьного возраста расположена значительно выше — на уровне 30—40 % от величины ФД. Поэтому объем резервных возможностей взрослого человека примерно в 2 раза больше, чем аналогичный показатель у ребенка.

Из приведенных сопоставлений ясно, что организм ребенка в процессе деятельности постоянно испытывает гораздо более сильное напряжение, чем организм взрослого, при этом максимальные и резервные возможности детского организма существенно меньше. Это необходимо осознавать во всех случаях, когда регламентируется учебная и физическая нагрузка для детей, особенно

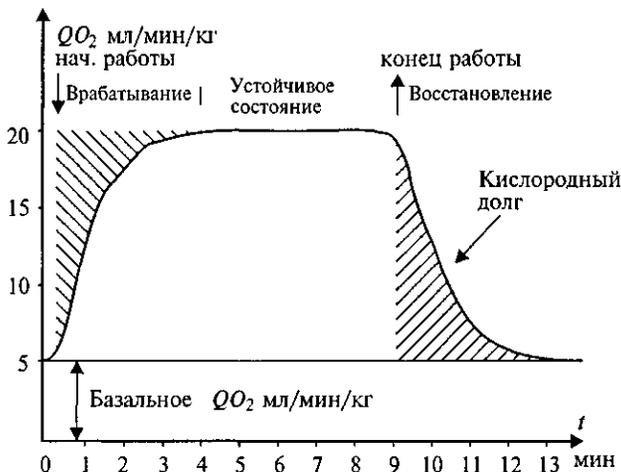


Рис. 31. Динамика потребления кислорода в процессе циклической мышечной работы умеренной мощности

в дошкольном и младшем школьном возрасте, а также в период полового созревания, когда параметры ФД временно вновь становятся близкими тем, что были характерны для младшего возраста. Ребенок, как и взрослый, может использовать свои резервные возможности, но если это повторяется регулярно и в неадекватно больших объемах, то ценой таких перегрузок может стать ухудшение здоровья ребенка.

Стационарные состояния и переходные процессы. Как уже говорилось выше, любая деятельность (работа) носит фазный характер. Это связано с тем, что все процессы в организме связаны с перемещением в пространстве веществ и структур, т. е. материальных объектов. Перемещается кровь по сосудам, перемещается воздух по воздухоносным путям, перемещаются части скелета под воздействием мышечных сокращений, перемещаются белковые нити актина и миозина, благодаря чему осуществляется сокращение мышц, и т.п. Все эти материальные объекты имеют массу, а следовательно, согласно 1-му закону Ньютона, подвержены инерции. На преодоление сил инерции необходимы время и внешняя сила. Такой силой служат мышечные сокращения.

Врабатывание. Время, в течение которого все процессы в организме переходят на новый уровень функциональной активности, называется периодом врабатывания (рис. 31). Обычно он длится несколько (2—5) минут, в течение этого времени активность вегетативных систем постепенно достигает такого уровня, который соответствует тяжести производимой работы.

Устойчивое состояние. После этого наступает новая фаза, которая характеризуется устойчивым состоянием. Это означает, что

уровень метаболизма и связанные с ним уровни активности вегетативных систем на протяжении этой фазы остаются почти неизменными, а значит, гомеостаз в организме устойчиво поддерживается благодаря взаимосогласованному действию соответствующих физиологических механизмов. Если в этой фазе неоднократно проводить измерения уровня активности физиологических функций, то результат неизменно будет один и тот же; физиологические функции как бы застывают на одном, постоянном уровне. Потребление кислорода, частота пульса, минутный объем дыхания и кровотока — эти и многие другие показатели почти не изменяются на протяжении всей этой фазы. Устойчивое состояние может длиться минуты или даже часы — все зависит от уровня нагрузки, которая выполняется организмом.

Примером такого состояния могут служить разнообразные циклически выполняемые действия: ходьба, умеренный бег, ходьба на лыжах, плавание, езда на велосипеде и т.п. Если интенсивность этих действий не слишком велика, то их циклическая организация (регулярное многократное повторение одних и тех же фаз) способствует установлению баланса между мышечной активностью и работой вегетативных систем организма. Недаром принято считать, что именно такого рода нагрузки обладают наиболее выраженным оздоровительным эффектом.

Утомление. Однако рано или поздно наступает третья фаза — утомление. В этой фазе выявляется разбалансировка в деятельности отдельных вегетативных систем и систем, непосредственно обеспечивающих выполнение работы. Снижается экономичность работы, в крови накапливаются вредные метаболиты, нарушается гомеостаз, человек ощущает желание прекратить работу и отдохнуть.

Восстановление. После того как работа прекратилась, организм не может мгновенно перейти на базальный уровень функционирования. Согласно законам инерции и физиологии, для того чтобы активность органов и систем снизилась, а также для удаления или обезвреживания вредных метаболитов и восстановления параметров гомеостаза требуется время. Этот период, когда работа уже не выполняется, а функции организма еще не вернулись к исходному минимальному уровню, называется периодом восстановления. Длительность периода восстановления самым существенным образом зависит от интенсивности, объема и характера выполненной работы и может составлять от 2—3 мин до нескольких часов. Чем более напряженной и длительной была работа, чем сильнее отклонились от нормы параметры гомеостаза, тем дольше продолжается период восстановления.

Переходные процессы. Фаза вработывания и фаза восстановления представляют собой ситуации временной несбалансированности метаболических и вегетативных процессов, связанной с

переходом от одного уровня функциональной активности к другому. Поэтому обе эти фазы вместе называют переходными, а процессы постепенной сонстройки метаболических и вегетативных систем во время этих фаз — переходными процессами. Переходные процессы обязательно присущи любой деятельности, что необходимо учитывать при планировании и организации труда и отдыха детей. Например, каждая школьная перемена — это смена вида деятельности, и она представляет собой почти сплошной переходный процесс, который продолжается и с началом следующего урока. Невозможно требовать от детей полной «отдачи», пока не завершились переходные процессы в период зарабатывания, и так происходит на каждом уроке, т.е. после каждой перемены.

Возрастные особенности переходных процессов заключаются в том, что у детей они, как правило, короче, чем у взрослых. Это связано с целым рядом причин. Во-первых, у детей меньше размеры тела и всех их органов, а значит, и меньше инерция. Во-вторых, у детей относительно выше тонус активирующего симпатического отдела вегетативной нервной системы и, наоборот, снижен тонус парасимпатического отдела. Благодаря этому дети быстрее переходят с более низкого на более высокий уровень функциональной активности. В-третьих, детский организм не предрасположен к масштабному использованию своих резервных возможностей, поскольку это может значительно нарушить гомеостаз. Системы поддержания гомеостаза у детей работают с несколько большим напряжением, поэтому в их организме имеются своего рода нейрогормональные «ограничители» (механизмы утомления), не позволяющие чрезмерно перегружать организм. Поэтому отклонения в гомеостазируемых параметрах у детей обычно бывают намного меньше, чем у взрослых. Благодаря этому процессы восстановления после окончания работы протекают у них обычно быстрее. (Следует отметить, что если внешнее воздействие, например психологическое давление со стороны учителей и родителей, вызовет у ребенка столь же значительные, как и у взрослого, отклонения гомеостаза, то процессы восстановления у него будут идти намного медленнее).

Возрастные особенности поддержания устойчивых состояний. Следует отметить, что ребенок раннего возраста может поддерживать такое состояние только на минимальном (базальном) уровне функциональной активности. Ребенок первые 3—4 года живет в непрерывных переходных процессах, ни о какой устойчивой деятельности здесь говорить не приходится. Первые, очень короткие, не более 10—12 мин, эпизоды устойчивого состояния могут наблюдаться при умственной деятельности у ребенка старше 4 лет. Для мышечной деятельности характерно отсутствие устойчивых состояний у детей до завершения полуростового скачка, т.е. до

6—7 лет. Это обусловлено спецификой работы управляющих нервных центров, а также организацией метаболических процессов в самих скелетных мышцах. Только с 7 лет можно постепенно приучать ребенка к выполнению достаточно длительной мышечной работы и только в том случае, если интенсивность работы оптимальна. При этих условиях ребенок к 8—9 годам способен обучиться устойчиво выполнять нагрузку в течение десятков минут (умеренный бег, езда на велосипеде, лыжи и т.п.).

Утомление, его стадии, проявления и механизмы. Длительное выполнение работы неизбежно ведет к утомлению. Это состояние знакомо каждому человеку с детства. Слово «устал» — одно из первых, появляющихся в лексиконе детей уже в 2—3 года. Устал — значит «не могу больше делать это дело», а вовсе не «ничего не могу делать». Переключение на другой вид деятельности — одна из лучших форм преодоления утомления, о чем писал еще в XIX в. наш выдающийся физиолог И.М.Сеченов.

До настоящего времени не прекращаются споры о том, где в организме то «место», в котором накапливается утомление. Одни физиологи убеждены, что все дело в нервных центрах, которые истощаются и не могут более продолжать посылать управляющие импульсы к органам-исполнителям. Другие настаивают на том, что утомить нервную клетку крайне трудно, а причина утомления лежит исключительно в сдвигах гомеостаза, несовместимых с продолжением работы. Третьи считают, что утомление — процесс периферический, означающий истощение тех клеток и тканей, которые несут на себе основные тяготы выполняемой деятельности.

В последние годы стало складываться представление о том, что все эти три утверждения по-своему верны, но применить их для объяснения феномена утомления можно лишь с учетом конкретного вида деятельности и параметров нагрузки: ее интенсивности, объема, а также от условий, в которых происходит деятельность.

Утомление — процесс фазный, как и многие другие процессы в организме человека. В первой фазе возникает некоторое напряжение в деятельности физиологических систем. Устойчивое состояние может еще не нарушиться, но поддерживать его становится все труднее. Только современные математические приемы обработки результатов физиологических исследований с помощью компьютеров позволили «увидеть» эту фазу утомления.

Во второй фазе уже отчетливо видны нарушения устойчивого состояния (рис. 32). При мышечной деятельности это проявляется в несогласованном снижении одних показателей и повышении других. Например, потребление кислорода может начать снижаться, а объемная скорость дыхания при этом возрастать. Это явный признак снижения эффективности и разбалансировки в деятельности вегетативных систем, характерный для утомления.

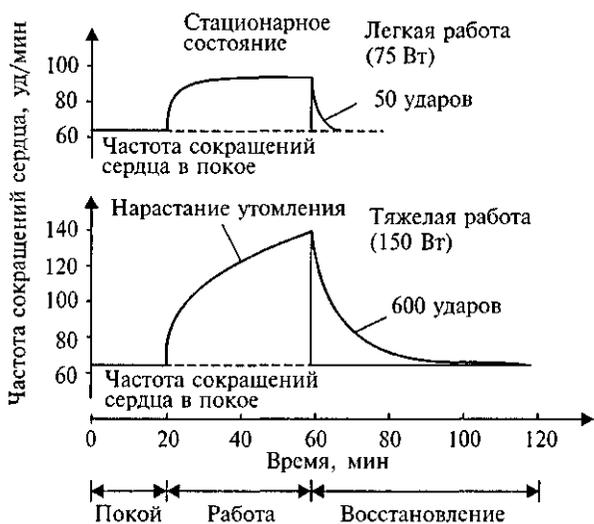


Рис. 32. Различие в динамике частоты сокращений сердца при легкой и тяжелой работе

При этом работа по-прежнему выполняется в том же объеме, с прежней интенсивностью: компенсаторные механизмы все еще справляются с удержанием необходимых функциональных свойств мышц. При умственной работе эта фаза обычно проявляется в увеличении числа ошибок, т.е. опять же в снижении эффективности, при сохранении скорости работы.

Третья фаза — срыв устойчивого состояния. Разбалансировка в работе вегетативных систем быстро нарастает, их эффективность резко падает, и вслед за этим наступает отказ от работы («Не могу!»). Умственная работа, не требующая столь больших энергетических ресурсов, может при этом и продолжаться, однако ее неэффективность делает ее продолжение совершенно бессмысленным.

Таким образом, чем дольше не наступает утомление при определенном уровне нагрузки либо чем выше уровень нагрузки, при котором наступает утомление, тем выше работоспособность человека.

Особенности утомления у детей исследованы мало, и это понятно, учитывая, сколь сложны и небезопасны для здоровья могли бы быть подобные исследования. Тем не менее известно, что пределы колебаний разнообразных характеристик гомеостаза у детей существенно уже, чем у взрослых, и это — один из факторов большей утомляемости детей. Второй фактор — незрелость нервных центров. Третий фактор — незрелость периферических органов и тканей. По крайней мере установлено, что скелетные мышцы морфологически и функционально созревают до уровня,

при котором организм способен противостоять утомлению при умеренных нагрузках, когда возраст ребенка достигает 6—6,5 лет, а утомление от нагрузок большой мощности у детей младшего школьного возраста наступает в 20 раз быстрее, чем у старшеклассников.

Признаками утомления являются: потливость рук и лица, покраснение лица, появление различных жалоб на самочувствие («болит голова», «живот» и т.п.). В тяжелых случаях (при переутомлении) могут наблюдаться вегетативные расстройства, бледность, тошнота и рвота, обмороки. Одним из факторов утомления может быть гипогликемия (снижение концентрации сахара в крови), а при физической работе — дегидратация организма, поэтому в такой ситуации ребенку рекомендуется предложить теплое сладкое питье.

Работоспособность и факторы, ее определяющие. Несмотря на интуитивно очевидный смысл слова «работоспособность», точного общепринятого определения этого понятия не существует. Ясно, что это слово означает способность выполнять работу, причем главным образом — длительную и объемную. *Измерение объема выполненной работы за фиксированное время* служит достаточно надежным и широко используемым способом оценки работоспособности.

В то же время столь же очевидно, что чем интенсивней человек работает, тем быстрее он устает. Сумеет ли он при этом выполнить больший объем работы, чем тот, кто работает в более спокойном темпе, если не ограничивать время испытания? Точные измерения, проведенные физиологами спорта, показали: нет, не сумеет. Менее интенсивная работа позволяет человеку выполнить значительно больший ее объем. Таким образом, наряду с объемом выполняемой работы для *оценки работоспособности* важно знать, какими *резервами интенсивности* обладает человек.

Некоторые исследователи предлагают определять работоспособность как способность противостоять утомлению. Однако главным критерием утомления при этом может выступать лишь качество (для умственной) и экономичность (для мышечной) работы. Поэтому третий параметр, который необходимо учитывать, — это качество, эффективность работы. Можно сделать очень много ненужной продукции, брака, но это не будет показателем высокой работоспособности. Чем быстрее, интенсивнее производится работа, тем большее количество ошибок допускает человек, тем менее экономично работают его физиологические системы, во всяком случае, за пределами зоны оптимума.

Еще один из подходов к оценке работоспособности — выявление возможности длительного удержания устойчивого состояния. Широко распространены также способы оценки работоспособности на основании изменения функциональной активности вегета-

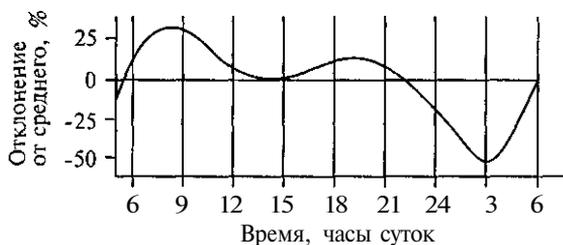


Рис. 33. Суточная динамика умственной работоспособности

тивных систем, например, по характеру реакции частоты пульса на стандартную нагрузку или по прибавке частоты пульса в ответ на увеличение интенсивности работы. Эти подходы больше касаются мышечной работоспособности, поскольку при выполнении умственной работы труднее выявить значительные изменения в деятельности физиологических функций.

Работоспособность зависит от множества факторов, как внутренних, так и внешних. Так, на фоне эмоционального подъема человек способен «горы свернуть», а в состоянии депрессии у него «все из рук валится». Работоспособность напрямую связана с состоянием здоровья и функциональной зрелостью организма. Дети младшего школьного возраста гораздо менее работоспособны, чем старшеклассники и взрослые. Падает работоспособность также в период пубертата. Любое функциональное неблагополучие, стресс и хроническое переутомление крайне негативно сказывается на работоспособности. По этой причине измерение и оценка разнообразных показателей работоспособности — важный и широко распространенный прием в возрастной физиологии, школьной гигиене, валеологии. Простейшие способы оценки работоспособности (умственной и мышечной) было бы полезно освоить учителям и родителям, это могло бы помочь им подбирать для детей адекватную их возможностям учебную и физическую нагрузку. На рис. 33 представлена типичная динамика работоспособности в течение суток.

Нейроэндокринная регуляция функций в процессе деятельности. Умственная деятельность и учебная нагрузка. Физиологические эффекты умственной деятельности, в том числе изменения гормональной ситуации в организме, исследованы пока очень мало. Специальные измерения активности симпатoadреналовой системы у школьников младших классов в течение учебного года позволили установить, что адаптация к условиям обучения в школе приводит к довольно значительным сдвигам гормонального статуса организма, особенно в 1-м классе, когда дети попадают на совершенно новую для них среду. Функциональное напряжение нарастает у детей от 1-й к 3-й четверти, а затем снижается почти

до исходного уровня. Связано ли это с успешно прошедшей адаптацией или является результатом истощения катехоламиновых резервов организма — утверждать сложно. Однако, судя по тому, что дети продолжают нормально учиться и болеют к концу учебного года не чаще, чем обычно, а также по тому, что с каждым следующим годом указанная реакция повторяется, но все менее выражено, можно считать, что речь должна идти об успешной адаптации школьников к режиму обучения.

Очень важно отметить, что по-разному организованный учебный процесс приводит к различным симпатоадреналовым эффектам: если учтены все гигиенические требования, включая длительность уроков, физкультминутки на переменах, режим занятий и отдыха, организовано качественное питание, а учебная нагрузка соответствует функциональным возможностям детей, сдвиги в уровне катехоламинов выражены значительно меньше и быстрее приходят к норме. Если же учебная нагрузка чрезмерна либо неправильно организован режим дня школьников, это может вызвать повышенное напряжение механизмов нейроэндокринной регуляции и соответственно весьма негативно сказаться на состоянии здоровья учащихся. К сожалению, учителя и родители редко соизмеряют объем и интенсивность учебной нагрузки с функциональными возможностями детского организма, ошибочно полагая, что эти возможности безграничны.

Мышечная деятельность. Значительно лучше изучены нейроэндокринные процессы, участвующие в регуляции мышечной деятельности. Правда, данных, касающихся детского организма, почти нет, так как большая часть таких исследований связана с решением задач спортивной подготовки.

Под воздействием мышечной работы усиливается активность гипоталамуса, что приводит к увеличению количества выделяемых гипофизом кортикотропного и тиреотропного гормонов, а также гормона роста. В то же время секреция гонадотропинов тормозится. Таким образом, гипофиз при физической работе вырабатывает дополнительные гормоны для стимуляции энергетических и пластических обменных процессов, но тормозит активность половой сферы. Задняя доля гипофиза усиливает продукцию вазопрессина, что необходимо для предотвращения обезвоживания организма. Если работа приводит к утомлению, то стимуляция гипофизом коры надпочечников прекращается, — это и понятно: организму требуется отдых для восстановления, а избыточная стимуляция в такой ситуации была бы неуместной.

В ответ на воздействие со стороны гипофиза щитовидная железа при мышечной работе может несколько повысить свою активность, выбрасывая в кровь добавочные порции тироксина, что обеспечивает активацию тканевого дыхания. Параллельно возрастает уровень кальцитонина, который способствует укреплению

костной ткани, поэтому детренированность и гиподинамия нередко ведут к появлению хрупкости костей. Гормоны щитовидной железы бывают особенно активны в тех случаях, когда организм попадает в условия пониженной температуры: тироксин необходим для нормальной регуляции температуры тела в холодных условиях, так как усиливает продукцию тепла мышечными клетками и печенью.

Вилочковая железа (тимус), основная роль которой — участие в иммунных реакциях организма, под влиянием напряженной мышечной деятельности обычно уменьшается в размерах, но при этом ее эндокринная активность даже повышается. Поскольку этот орган с возрастом уменьшается и замещается соединительной тканью, его функция особенно важна для детского организма с неустановившимися еще иммунными реакциями.

Поджелудочная железа реагирует на физические нагрузки фазно: сначала ее активность растет и содержание инсулина в крови увеличивается — соответственно увеличивается использование глюкозы тканями организма. Затем уровень инсулина снижается, и с этим связан переход на использование жиров в качестве питания для работающих мышц. Эта реакция чрезвычайно целесообразна, так как жиры представляют собой гораздо более экономичное «топливо» для мышц, чем углеводы.

Стимуляция со стороны гипофиза заставляет кору надпочечников вырабатывать дополнительные количества глюкокортикоидов. Благодаря этому мобилизуются белковые и углеводные ресурсы организма, активизируются многие приспособительные реакции организма, в том числе со стороны сердечно-сосудистой системы. Однако чрезмерные нагрузки приводят к перерасходу и истощанию ресурсов глюкокортикоидов. Это защитная реакция организма, но проявляется она иногда в форме синдрома переутомления, сопровождается головной болью, расстройством вегетатики, неприятными ощущениями в области солнечного сплетения и т.п.

Мозговой слой надпочечников первым реагирует на мышечную нагрузку резкой активацией продукции адреналина. Биологическую целесообразность такой реакции мы уже обсуждали выше. Уровень катехоламинов в крови увеличивается пропорционально мощности нагрузки. При значительном утомлении содержание адреналина и норадреналина во всех тканях тела, включая кровь, заметно снижается. Введение адреналина и его аналогов извне существенно стимулирует возможности организма, в том числе мышц, дыхания, сердца и других систем. На этом принципе работают многие препараты, относящиеся к разряду допингов и поэтому запрещенные в спорте.

Интенсивная мышечная нагрузка тормозит продукцию женских половых гормонов — эстрогенов. В то же время силовые нагрузки, требующие наиболее напряженных мышечных сокраще-

ний, стимулируют выработку мужских половых гормонов — андрогенов, особенно в восстановительном периоде, когда нужно реконструировать поврежденные за время работы скелетные мышцы. Эта реакция весьма адаптивна и обеспечивает рост мышц в процессе тренировок. Поэтому-то ее и вызывают искусственным путем с помощью синтетических анаболических стероидов, запрещенных к применению в спорте наравне с другими допингами. Использование допингов может приводить к безвозвратной утрате мужчинами потенции, а женщинами фертильности (способности вырабатывать яйцеклетки, пригодные для оплодотворения), а также к развитию сердечно-сосудистых и раковых заболеваний. Повышенный уровень андрогенов в крови мужчин, занимающихся тяжелым физическим трудом, особенно в периоды отдыха, способствует их повышенной половой активности. Умственная работа, напротив, угнетает половую функцию.

Детям до завершения полового созревания и окончания пубертатного скачка роста противопоказаны тяжелые физические нагрузки, связанные с поднятием тяжестей (спортивные единоборства, тяжелая атлетика и т.п.). Это обусловлено тем, что на фоне неустановившейся нейрогуморальной регуляции подростков негативные последствия таких нагрузок могут проявиться как в преждевременной остановке роста, так и в ускоренном завершении полового созревания, что нередко отрицательно сказывается на состоянии здоровья в дальнейшем.

Физиология адаптации

Адаптация: процесс и результат. Слово «адаптация» происходит от латинского слова, означающего приспособление. Процесс адаптации — это процесс морфологических и функциональных преобразований в организме, в результате которых действующий фактор среды ослабляет или вовсе прекращает свое негативное воздействие не потому, что он устранен, а потому, что организм уже не воспринимает этот фактор как нечто неблагоприятное. Результатом адаптации является способность организма нормально функционировать в новых для него условиях при сохранении важнейших параметров гомеостаза и высокой работоспособности. Здесь в полной мере вступает в силу принцип Ле Шателье, согласно которому сложная система под воздействием оказанного на нее давления изменяется таким образом, чтобы минимизировать последствия этого воздействия.

На протяжении жизни человеку неоднократно приходится переживать периоды адаптации. Первый из них — момент рождения, сразу после которого организм должен достаточно быстро приспособиться к множеству таких вновь возникших факторов,

как сила тяжести, переменная температура, воздушная среда, микробные агрессии и т.п. Поскольку внешняя среда постоянно меняется и задает свои условия организму, постольку жизнь есть непрерывная адаптация к физическим, химическим, биологическим и социальным факторам окружающей среды.

Срочная и долговременная адаптация. Впервые столкнувшись с действием какого-либо фактора, способного нарушить гомеостаз или привычную деятельность физиологических систем, организм бурно реагирует, пытаясь найти выход из создавшегося положения. Бурная реакция организма проявляется в виде активации множества физиологических функций. Такая срочная адаптация базируется на том функциональном диапазоне, который характерен для каждой из участвующих в этом процессе физиологических функций. Эта порой хаотическая активность обычно позволяет решить задачу срочного приспособления, хотя его физиологическая цена может быть чрезвычайно высока. Поэтому, если такое же воздействие возникает вновь и вновь, организм переходит к другой стратегии адаптации, которая требует значительно более глубоких перестроек и во много раз больше времени, но позволяет решить возникшую задачу гораздо эффективнее. Такая долговременная адаптация обязательно включает в себя этап активации генетического аппарата клеток тех органов и тканей, которые наиболее активно участвуют в процессах срочной адаптации. Доказано, что сам процесс срочной адаптации через образующиеся при этом промежуточные продукты обмена веществ (в частности, циклический АМФ) как раз и запускает активацию клеточного генома, что необходимо для начала синтеза новых белков и других структурных и функциональных молекул в клетках адаптирующегося организма. Постепенно, по мере многократного повторения воздействия фактора, к которому приспособляется организм, его структурные и функциональные возможности становятся все в большей мере пригодными для наиболее эффективного и экономичного реагирования на каждое такое воздействие. И наконец, наступает момент, когда организм воспринимает воздействие этого фактора как нечто совершенно обычное, не ведущее к какому-либо значительному увеличению функциональной активности. Считается, что для человека этот период обычно составляет около 6 нед.

Следует подчеркнуть, что сила действия фактора, вызывающего адаптацию, должна превысить некий порог, иначе организм не прореагирует на это воздействие. Так, если мы хотим закалить ребенка с помощью обливания его ног водой, т.е. вызвать у него температурную адаптацию, то температура воды должна быть достаточно низкой (22—24 °С), чтобы такое воздействие организм воспринял как существенное. Если вода будет близка по температуре к термонеutralной зоне (28—30 °С), то никакой адаптации

не произойдет, сколько бы мы ни применяли эту водную процедуру.

Согласованность структурно-функциональных изменений, принцип симморфоза. В процессе адаптивной перестройки организма не может произойти так, что один орган изменится, а все другие останутся прежними. Любое изменение структуры и функции части организма ведет к адекватным изменениям целого, поскольку организм — это единая система, и на подобные воздействия он реагирует как одно целое. Другое дело, что не обязательно все органы или ткани должны, например, гипертрофироваться (увеличиваться в размере) — адаптация всегда протекает целесообразно, в соответствии с принципом разумной достаточности. Изучая разнообразные проявления адаптации в процессе эволюции, в условиях различной среды обитания и в онтогенезе, физиологи выдвинули принцип симморфоза, т.е. согласованных морфологических и функциональных адаптивных изменений. Согласно этому принципу, изменения в системе дыхания связаны с адекватными изменениями в системе кровообращения, а те в свою очередь — с аналогичными изменениями в системе гормональной регуляции и т.д. Таким образом, гармоничное приспособление за счет изменения только одной структуры невозможно — при этом обязательно изменится многое.

Адаптивные возможности и их пределы. В геноме каждого человека заключены огромные возможности реализации самых разнообразных адаптивных вариантов, однако они не беспредельны. И пределы эти установлены наследственными характеристиками, которые специфичны для каждого биологического вида. Например, человек никогда без помощи технических средств не сможет находиться под водой десятки минут, как это могут делать китообразные; не сможет пользоваться ультразвуком для ориентации в пространстве, как это умеют делать летучие мыши; не сможет впадать в спячку, как медведь, и т.п. Но и тех возможностей, которыми располагает человек благодаря его наследственности, вполне достаточно для того, чтобы приспособиться к широчайшему разнообразию экологических условий, встречающихся на Земле. Человек по своим биологическим свойствам — одно из самых выносливых существ, обладающих огромной для его размеров силой и быстротой, а уж в сфере мыслительных процессов он просто не имеет равных среди живущих на Земле организмов. Однако для того чтобы полностью реализовать любую из заложенных в генетическом коде человека потенциальных возможностей, необходима длительная и упорная тренировка, т.е. адаптация.

Непрерывность адаптации. Принципиальной особенностью биологической адаптации является ее актуальность. Если то или иное свойство, возникшее в результате адаптации, никогда больше не использовалось или долго не использовалось, это свойство утра-

чивается. Организм весьма расчетливо экономит свои ресурсы и не тратит их попусту на структуры и функции, на которые нет «спроса». Подтверждением этого могут служить результаты обследований космонавтов, долгое время проводивших на околоземной орбите при отсутствии силы тяжести. Их мышцы теряют свои свойства и даже отчасти деградируют, из костей вымывается кальций, они становятся хрупкими и мягкими. Только с помощью специально организованных ежедневных физических тренировок на беговой дорожке этому удастся противостоять, и то не в полной мере. Точно так же невозможно раз и навсегда «пронадаптироваться» к воздействию любого другого фактора. Человек, живущий в горах, адаптирован к низкому содержанию кислорода в атмосфере: у него выше уровень гемоглобина в крови, более активны окислительные ферменты и т.д. Но стоит ему спуститься с гор и прожить там несколько месяцев — все эти адаптивные особенности пропадают. Попав вновь в горы, человек вынужден адаптироваться к ним заново. Хотя в этом случае адаптация проходит обычно легче и быстрее, так как любая адаптация оставляет в организме след, который облегчает последующую нервную и гормональную перестройку.

Все это в полной мере относится к обучению, в котором роль физиологической адаптации чрезвычайно велика. Хорошо известно, что отсутствие практики приводит к утрате навыка использования иностранного языка. Однако восстановление этого навыка в полном объеме для человека обученного — задача неизмеримо более легкая, чем обучение «с нуля».

Резервы организма: мифы и физиологическая реальность. В популярной, а иногда и научной литературе периодически поднимается вопрос о необычайных возможностях, заложенных в организме человека и нереализованных лишь потому, что мы не умеем этого делать. В частности, по мнению некоторых авторов, мозг человека используется только на 2—3 % (встречаются разные оценки), а остальную часть составляют резервы, лежащие «мертвым грузом». Сказанное выше свидетельствует о том, что это не более чем миф. Никаких резервов, которые не используются и все же сохраняются, в организме человека нет. Другое дело, что с помощью грамотно построенной тренировки можно значительно улучшить многие характеристики деятельности в конкретных условиях. Надо лишь понимать, что если мы получаем выигрыш в одном направлении, то можем нечто потерять в другом направлении. Например, люди с мощной мускулатурой, много сил отдавшие тренировке своих мышц и демонстрирующие чудеса силовой подготовки, как правило, почти полностью теряют гибкость позвоночника и обладают низкой общей выносливостью, это — плата за чрезмерное развитие силовых возможностей. Разумеется, бывают всесторонне одаренные люди, которым удастся довести до со-

вершенства не одну, а несколько сторон своих способностей. Но это уникальные случаи, как уникальна многогранная гениальность Леонардо да Винчи или М.В.Ломоносова.

Специфические и неспецифические компоненты адаптационного процесса. Выдающийся физиолог XX в. Г.Селье (канадец венгерского происхождения) в середине 50-х годов разработал концепцию, согласно которой адаптация имеет два компонента — специфический и неспецифический.

Специфический компонент — это конкретные приспособления конкретных органов, систем, биохимических механизмов, которые обеспечивают наиболее эффективную работу всего организма в данных конкретных условиях. Например, у жителей горных районов, где содержание кислорода в атмосферном воздухе ниже, чем на уровне моря, отмечается целый ряд особенностей системы крови, в частности повышенная концентрация гемоглобина (чтобы можно было более эффективно извлекать кислород из проходящего через легкие воздуха). Появление пигментации (загара) на коже у людей, находящихся достаточно длительное время в условиях сильной инсоляции (солнечной радиации), — также пример структурной специфической адаптации, позволяющей снизить риск повреждений избыточной лучистой энергией тех тканей, которые расположены ниже поверхностных слоев кожи. Таких примеров можно привести множество, и они хорошо известны уже давно. Специфические приспособления в организме образуются благодаря изменению активности определенных участков генома в тех клетках, от которых такое приспособление зависит, и это происходит на протяжении довольно значительного времени. Обычно человеку необходимо 6—8 нед на то, чтобы полностью приспособиться к воздействию нового для него фактора.

Заслуга Г.Селье состоит в том, что он обратил внимание на **неспецифические** компоненты адаптации, которые выявляются всегда, независимо от природы действующего фактора. Селье сумел так же разобраться в основных механизмах гормональной регуляции, формирующихся в начальный период адаптации, именуемый стресс-реакцией.

Регуляция адаптационного процесса. При воздействии любого стресс-фактора, прежде всего активизируется мозговое вещество надпочечников, которое вырабатывает адреналин и норадреналин. Эта функция, находящаяся под контролем симпатического отдела вегетативной нервной системы, всегда первой активизируется в ответ на любые неблагоприятные воздействия или просто на резкое изменение окружающей среды. Даже резкое слово, приказ или упрек могут вызвать у человека стресс, в результате которого в кровь выбрасывается большое количество катехоламинов. Механизм действия катехоламинов на клетки таков: мобилизуются запасы углеводов в печени, которые могут потребоваться, если организму пред-

стоят активные действия, а нервная ткань будет нуждаться в дополнительном питании для выполнения своей функции.

Вслед за этим наступает вторая фаза эндокринной регуляции стресс-реакции. Для ее начала требуется активация гипоталамических нейромедиаторных влияний на гипофиз, в ответ на которые передняя доля гипофиза выбрасывает в кровь адренокортикотропный гормон. Этот гормон воздействует на кору надпочечников, заставляя ее выделять повышенные количества гормона *кортизола* — одного из важнейших глюкокортикоидов. Это название отражает тот факт, что гормоны данной группы, имеющие сходное химическое строение, участвуют в регуляции углеводного обмена в клетках организма, обладая сильно выраженным *катаболическим* действием. Функция кортизола и ему подобных гормонов состоит в том, чтобы усиливать образование гликогена в печени за счет использования аминокислот. Поскольку образование свободных аминокислот в организме происходит в основном за счет распада мышечных белков, в результате совместного действия гормонов надпочечников складывается такая метаболическая ситуация: мышечные белки при распаде превращаются в аминокислоты; аминокислоты под действием кортизола превращаются в гликоген; гликоген под действием адреналина высвобождает глюкозу. В итоге быстро повышается уровень глюкозы в крови, что и обеспечивает энергетические потребности нервной и других тканей в условиях стресса. Кроме того, кортизол препятствует поглощению глюкозы клетками тела (кроме нервной ткани, которая не чувствительна в этом отношении к действию инсулина и кортизола), а также усвоению мышечными клетками свободных аминокислот. Еще одно действие кортизола — усиленное расщепление жиров в клетках тела, в результате чего уровень жирных кислот в крови также повышается. Таким образом, гормональная регуляция на этом этапе стресса состоит в мобилизации всех важнейших субстратов, которые могут понадобиться любым тканям организма для срочной и напряженной деятельности.

Следует отметить, что быстрое повышение уровня кортизола в крови в ответ на стрессовое воздействие происходит только при первом столкновении с новым фактором. Если такие воздействия повторяются, то степень повышения количества кортизола снижается — наступает своего рода привыкание организма к стрессогенному воздействию.

Еще одно важное действие кортизола в условиях стресса состоит в его взаимоотношениях с адреналином. Сам по себе кортизол на сокращения гладкой мускулатуры кровеносных сосудов в мышцах не влияет, но зато в его присутствии такое влияние оказывают катехоламины — адреналин и норадреналин. Если кортизола в крови нет, т.е. ситуация не напоминает стрессовую, то и катехоламины не оказывают действия на стенки сосудов мышц. Наобо-

рот, в условиях стресса сосуды мышц начинают сокращаться, что приводит к существенному усилению кровотока через мышцы, и обильно поступающая туда кровь приносит с собой дополнительные порции кислорода, глюкозы, жирных кислот и аминокислот, которые высвободились из тканей под воздействием тех же гормонов. Таким образом, создаются оптимальные условия для напряженной мышечной деятельности, когда предстоит борьба или бегство, — в этом и состоит биологический смысл описанных гормональных реакций.

Если процесс адаптации затягивается, и организм длительное время вынужден жить в условиях повышенного выделения гормонов мозговым и корковым слоями надпочечников, наблюдается гиперактивность желез внутренней секреции, вслед за которой может наступить гормональное истощение. Г. Селье говорил в таких случаях о «срыве адаптации». Такое состояние организма называют *дезадаптацией*, и если оно сохраняется достаточно долго (недели, месяцы), то может привести к развитию *болезней адаптации*. Это могут быть различные заболевания в зависимости от того, на каком уровне нейроэндокринной регуляции происходит истощение: на уровне гипоталамуса, гипофиза или периферического звена — надпочечников. В тяжелых случаях гормональное истощение в условиях длительного острого стресса может приводить к летальному исходу.

Болезни адаптации. Чаще других в качестве болезни адаптации выступает язвенная болезнь желудка или двенадцатиперстной кишки. Это связано с тем, что кортизол стимулирует активность желудочной секреции (такая реакция также биологически целесообразна, так как помогает лучше переваривать и усваивать пищу, которая нужна для предстоящей адаптации организма). Если гиперактивность надпочечников продолжается долго (неделями или месяцами), т.е. организм находится в условиях продолжительного стресса, повышенная желудочная секреция приводит сначала к эрозии эпителия, а потом и к появлению язвы. Учитывая, что кортизол и другие глюкопротеиды, выделяемые надпочечниками, обладают противовоспалительным действием, развитие болезни часто протекает незаметно, так как ее симптомы приглушены из-за измененного гормонального фона. Однако, уменьшая или даже снимая симптомы воспаления, гормоны не препятствуют развитию собственно патологического процесса. В результате нередко неожиданно обнаруживаются довольно значительные поражения слизистой желудка на фоне, казалось бы, полного благополучия. У подростков в переходный период такие явления не столь уж редки, что связано и с обилием стрессогенных воздействий, и с неустойчивостью их нервной и гормональной регуляции. Поэтому соблюдение правильного режима питания в подростковом возрасте — принципиально важная задача, от решения которой во мно-

гом зависит сохранение их здоровья. Пища должна быть по возможности разнообразная, не перенасыщенная острыми и кислыми продуктами, обязательно содержащая растительный белок и мукополисахариды, а также витамины и микроэлементы.

Возрастные особенности механизмов и стратегии адаптивных перестроек. Поскольку адаптация — процесс, обязательно регулируемый нейрогуморальными механизмами, а эти механизмы с возрастом претерпевают существенные изменения и окончательно формируются практически только к моменту завершения полового созревания, ясно, что у детей адаптация протекает не совсем так, как у взрослых. Это касается как процессов срочной, так и долговременной адаптации. Следует отметить, что вопросы возрастных изменений адаптационных процессов у человека изучены мало, поскольку подобные эксперименты с детьми проводить невозможно. Однако в экспериментах на лабораторных животных (обычно это белые крысы специальных пород) удалось выявить целый ряд возрастных особенностей, которые затем были обнаружены и у человека на основании косвенных данных.

Две важнейшие особенности отличают адаптационный процесс в раннем возрасте: недостаточность ресурсов и генерализация адаптационного ответа.

Недостаточность ресурсов детского организма в условиях адаптации с очевидностью вытекает из рассмотренных выше особенностей структуры функционального диапазона. Любое воздействие, требующее адаптивных реакций организма, заставляет его функциональные системы активироваться до уровня резервных возможностей. Собственно говоря, если бы этого не было, то никакая адаптация бы и не понадобилась. Нижняя граница зоны резервных возможностей как раз и есть тот порог воздействия, после преодоления которого и начинается адаптация. Если же функции не выходят за границы зоны привычной активности, то об адаптации нет и речи. Поскольку у детей, как было показано выше, зона резервных возможностей существенно более узкая, постольку этих резервов чаще не хватает на решение встающих перед организмом задач, связанных с адаптацией. Таким образом, дети более склонны впадать в состояние дезадаптации даже в условиях действия «умеренных» с точки зрения взрослых функциональных нагрузок. Значимость этого обстоятельства для педагогического процесса совершенно очевидна.

Однако дело еще более осложняется другим обстоятельством, которое на первый взгляд совершенно не очевидно, но вполне понятно кибернетикам, которые занимаются «обучением» компьютерных систем (например, на основе новейшей технологии «нейронных сетей»). Организм ребенка в процессе взросления непрерывно обучается, причем это не только обучение в смысле приобретения навыков и знаний, это еще и обучение функцио-

нальных систем организма взаимодействовать между собой и подчиняться единой нейрогуморальной регуляции. На ранних этапах развития практически любое новое воздействие на организм вызывает очень бурную реакцию, в которую вовлекаются чуть ли не все органы и системы. Такого рода реакции физиологи называют *генерализованными*, т.е. обобщенными, всеобщими. По-видимому, эта особенность связана с тем, что нервные центры еще не умеют качественно дифференцировать стимулы и «на всякий случай» приказывают всем периферическим органам и тканям активизировать свои функции. Недостаточно дифференцированными являются в раннем возрасте и гормональные стимулы: огромное количество клеток в самых разных тканях имеют гормональные рецепторы и как бы служат органами-мишенями для широкого спектра гормонов. Кстати, в этом заключается одна из причин того, что детский организм не способен к длительному удержанию устойчивого состояния при деятельности.

Такая неспецифическая, генерализованная реакция крайне неэкономична, она вынуждает активироваться большое число органов и тканей, никак не способных помочь в решении стоящей перед организмом адаптивной задачи. При том, что резервные возможности детского организма и без того невелики, такая стратегия адаптации кажется просто абсурдной и неминуемо ведет к перенапряжению. В раннем возрасте, действительно, порой, невозможно по физиологическим реакциям понять, к какому именно фактору адаптируется организм: к пониженной температуре, к повышенной температуре, к недостатку кислорода в атмосфере или к усиленному режиму двигательной активности. Специфические компоненты адаптации почти не проявляются, а неспецифические во всех этих случаях одинаковы.

С течением времени, по мере созревания нервных структур, они дифференцируются и становятся значительно более избирательными по отношению к приходящим стимулам. Благодаря этому более адресной, прицельной становится реакция вегетативных и других исполнительных систем организма. Адаптационный ответ перестает быть генерализованным, а делается все более локальным и специфическим, т.е. строго направленным на устранение конкретного фактора, на решение конкретной и узкой адаптационной задачи.

Наиболее значимые изменения в стратегии адаптации вегетативных систем происходят в период полуростового скачка, т.е. в 5—7 лет. Лишь с этого возраста организм становится способным осуществлять прицельные, специфические, хорошо дифференцированные реакции в ходе своего приспособления. Это еще одна причина, почему начало школьного обучения должно осуществляться лишь после завершения этого важнейшего этапа развития и созревания всех морфофункциональных систем детского организма.

В период полового созревания адаптационные процессы временно утрачивают свою эффективность и вновь становятся менее специфическими. Однако это продолжается сравнительно недолго, и уже после 15—16 лет юноши и девушки имеют уровень адаптационных возможностей, практически как у взрослых.

Адаптация, тренировка и обучение. Физиологическая адаптация лежит в основе тренировки и обучения. Тренировка в спорте и физическом воспитании требует неременного применения сверхпороговых по объему и интенсивности нагрузок — иначе тренированность не повышается. Это находится в полном согласии с теорией адаптации. Кроме того, хорошо известен феномен «переноса тренированности», который проявляется в том, что при тренировке одного физического качества (свойства) совершенствуются и другие. Этот феномен особенно часто проявляется у детей младшего школьного возраста, что вполне согласуется с возрастными особенностями стратегии адаптации. Поскольку физическая тренировка представляет собой пример адаптации, при ее организации необходимо учитывать возрастные особенности детей, их меньшие резервные возможности и генерализацию адаптивных реакций, о чем не всегда знают учителя и тренеры. К тому же, как и любая другая адаптация, физическая тренировка вызывает мощнейшие нейрогуморальные сдвиги в организме, о чем также не должны забывать тренеры и родители.

Совершенно те же процессы происходят при обучении, только действующим фактором в этом случае служит обычно не столько сверхпороговая интенсивность, сколько чрезмерный объем учебной нагрузки (впрочем, завышенный объем можно выполнить только за счет резкой интенсификации учебного труда).

Адаптация к учебному процессу в школе наиболее остро протекает в 1-м классе, когда ребенок впервые попадает в совершенно новые для себя условия, затем в 5-м классе, когда он сталкивается с новой для него организацией учебного процесса в средней школе. У подростков 7—8-х классов также имеются проблемы с адаптацией, однако они скорее вызваны внутренними, чем внешними причинами. Впрочем, это еще более серьезно, поскольку эти внутренние причины невозможно ни устранить, ни хотя бы смягчить. Единственный путь — уменьшить учебные нагрузки, что могло бы способствовать более спокойному и менее болезненно в психологическом и физиологическом аспектах протеканию пубертатного процесса.

Вопросы и задания

1. Что общего и в чем различие между адаптацией и деятельностью?
2. Перечислите фазы деятельности и расскажите, в чем их смысл.
3. Что такое функциональный диапазон и как он меняется с возрастом?
4. Что такое устойчивое состояние и переходные процессы?

5. Каковы причины утомления и в чем оно проявляется?
6. Что такое работоспособность?
7. Как осуществляется регуляция функций в процессе деятельности?
8. Что такое срочная и долговременная адаптация?
9. Чем различаются специфические и неспецифические компоненты адаптации?
10. Как регулируется адаптационный процесс?
11. В чем заключаются возрастные особенности адаптации?
12. Как соотносятся адаптация, тренировка и обучение?

Глава 10. МЫШЕЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕБЕНКА

Примерно 600 мышц, прикрепленных к костям, обеспечивают все перемещения и движения человека — от рефлекторных миганий и глотательных движений до виртуозных движений пальцев пианиста, рук скрипача или кисти художника. Все скелетные мышцы состоят из однотипных клеток, которые ввиду своей удлинённой веретенообразной формы называют *мышечным волокном*. Скелетные мышцы наряду с нервными структурами относятся к возбудимым тканям, составляющие их клетки — наиболее сложно устроенные в организме человека. С этим связано то обстоятельство, что мышечная ткань проходит очень долгий и многоступенчатый путь возрастного развития (рис. 34), претерпевая на этом пути несколько кардинальных перестроек.



Рис. 34. Возрастные изменения массы скелетных мышц

продольном срезе мышечного волокна видна поперечная исчерченность,

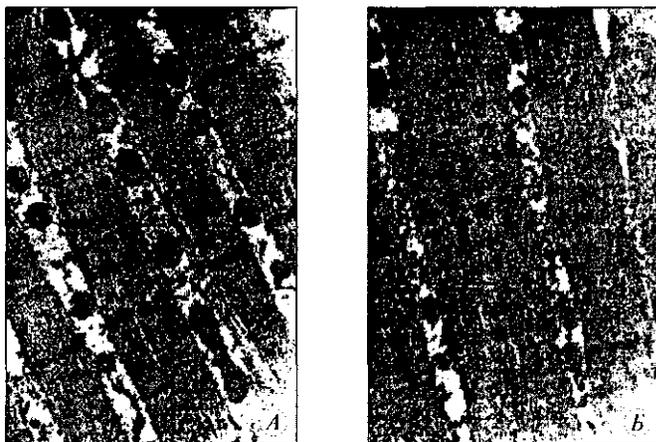


Рис. 35. Ультраструктура мышечной ткани человека:

А — мальчик 11 лет; *Б* — взрослый мужчина

которая обусловлена тем, что его внутренние структуры периодически (через каждые 2—2,5 мкм) многократно повторяются (рис. 35). Подобные гигантские *поперечно-полосатые* волокна составляют мышечную ткань не только скелетной мускулатуры, но также сердца и некоторых внутренних органов.

Под микроскопом можно также обнаружить мелкие клетки — сателлиты, прилегающие к многоядерным мышечным волокнам. Эти клетки в определенных условиях быстро многократно делятся, принимая участие в процессах дальнейшего развития ткани и регенерации мышечного волокна после травм.

Типология мышечных волокон. Мышечные волокна, входящие в состав скелетных мышц, отличаются друг от друга по многим характеристикам. Чаще всего их подразделяют на два типа в зависимости от свойств главного сократительного белка миозина (табл. 11).

Волокна I типа содержат «медленный» миозин. Это сравнительно тонкие волокна с большим содержанием митохондрий и миоглобина (аналог гемоглобина, содержащийся в самих мышечных волокнах), поэтому они имеют красный цвет и их называют еще «красные». В этих волокнах преобладает аэробная энергетика, наиболее экономичная, но зависящая от доставки кислорода. Эти волокна малоутомляемы и обеспечивают выносливость мышц.

Волокна II типа содержат «быстрый» миозин. Они примерно в 2 раза толще волокон I типа. Этот тип подразделяется на подтипы IIА и IIВ.

Волокна типа IIВ содержат много АТФ и креатинфосфата в цитоплазме, но мало митохондрий и миоглобина, поэтому их называют «белые». Их энергетика базируется главным образом на

анаэробных гликолитических процессах и в гораздо меньшей степени зависит от доставки кислорода. Однако эти волокна быстро утомляются при нагрузке. Именно они определяют важнейшее качество — силу.

Т а б л и ц а 11

Характеристика типов мышечных волокон человека
(по Дж. Хенриксону, 1978)

Показатель	Тип I	Тип ПА	Тип ИВ
Скорость сокращения	Низкая	Высокая	Высокая
Цвет	Красный	Красный	Белый
Содержание липидов	Высокое	Среднее	Низкое
АТФ-азная активность	Низкая	Высокая	Высокая
Площадь поперечного сечения, мкм ²	3880	4950	3590
Капилляризация в расчете на 1 волокно	3,9	4,2	3,0
Капилляризация в расчете на 1 мм ²	1,03	0,86	0,84
Активность СДГ (окислительные ферменты)	11,8	8,4	7,1
Активность ФФК (ферменты анаэробного гликолиза)	12,8	25,5	27,0
Процентное содержание в m. quadriceps femoris	43,0	37,0	20,0

Волокна типа ПА по своим свойствам занимают промежуточное положение между волокнами типа I и подтипа ПВ. Эти промежуточные волокна характеризуются смешанной энергетикой, в которой примерно поровну представлены механизмы митохондриального окисления и анаэробного гликолиза. Размер таких волокон также промежуточный: меньший, чем волокон типа ПВ, но больший, чем волокон типа I. Площадь поперечного сечения волокон типа ПА составляет 2500—3500 мкм². Эти волокна являются наиболее универсальными, адаптивными.

Двигательная единица. Группу (обычно несколько десятков) однотипных мышечных волокон снабжает управляющей информацией один нейрон, расположенный в спинном мозге. Такая нервная клетка, управляющая двигательными функциями, называется *мотонейроном*, а вместе с теми мышечными волокнами, которые ей подчинены, она составляет *двигательную единицу*. Это элементарная единица морфофункционального устройства скелетных мышц. Волокна I типа, которые относятся к «медленным», иннервируются «медленными» мотонейронами, волокна II типа —

«быстрыми». В составе каждой двигательной единицы все волокна одного типа.

подавляющее большинство мышц являются смешанными, состоящими из волокон I и II типов в различных пропорциях. Соотношения типов волокон достаточно устойчивы и определяются генетическими факторами. От этих соотношений зависят, например, достижения человека в том или ином виде спорта или в другой деятельности, где успех определяется возможностями мышц.

Онтогенез мышечных волокон

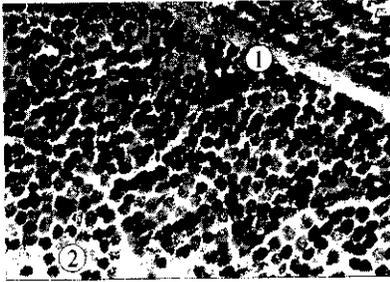
Эмбриональный период. Формирование мышечной ткани начинается на 4–6-й неделе внутриутробного развития. В это время формируются так называемые миотрубки — первичные мышечные волокна. Несколько позже в мышцы прорастают длинные отростки (аксоны) мотонейронов спинного мозга. С этой стадии начинается синхронное формирование нервно-мышечного аппарата, причем основные индуктивные влияния осуществляются нервными элементами. Процессы дифференциации (т.е. появление разных типов) мышечных волокон связаны в первую очередь с развитием мотонейронов спинного мозга. Это происходит на 6–7-м месяце внутриутробной жизни, и ребенок рождается с мышцами, уже частично прошедшими этап первичной дифференцировки.

Постнатальное развитие. К моменту рождения количество волокон, включившихся в первый этап дифференциации, составляет в среднем 43 % (рис. 36). Дифференцировочные процессы резко усиливаются в возрасте от 1 до 2 лет. К концу этого срока уже можно выделить волокна с «быстрым» миозином (например, в четырехглавой мышце бедра их 15%), с «медленным» (61 %) и с «промежуточным» (24%).

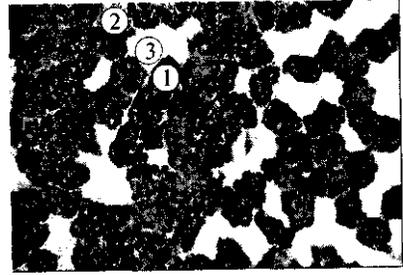
В возрасте от 5 до 10 лет в соотношениях между волокнами различного типа устанавливается относительная стабильность, но затем в возрасте 11–12 лет наступает волна пубертатных перестроек. Это проявляется в увеличении числа волокон с «быстрым» миозином (тип ИВ). В возрасте 14 лет наблюдается увеличение относительного количества волокон I типа. На этом этапе все мышечные структуры резко увеличивают темпы роста.

К 17–18 годам окислительные возможности мышечной ткани и относительное количество волокон I типа снижаются. Устанавливается дефинитивное, характерное для взрослых, соотношение мышечных волокон разного типа. К этому возрасту достигают свойственного взрослым уровня и поперечные размеры мышечных волокон.

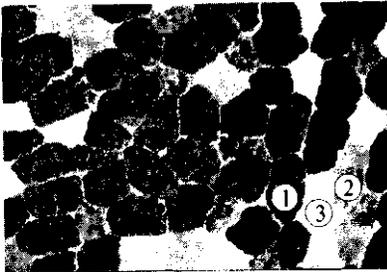
Старение (70 лет и старше) приводит к значительным изменениям мышечных структур. К этому возрасту снижается число «силь-



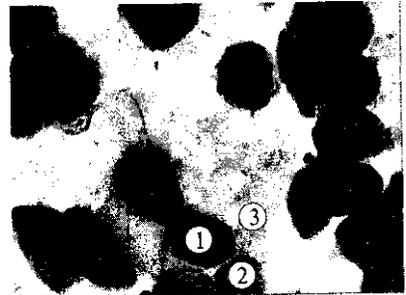
НОВОРОЖДЕННЫЙ



МАЛЬЧИК 4 ГОДА



МАЛЬЧИК 7 ЛЕТ



ПОДРОСТОК 12 ЛЕТ



ПОДРОСТОК 14 ЛЕТ



ЮНОША 17 ЛЕТ

3

Рис. 36. Возрастные изменения волоконного состава скелетных мышц (m. quadriceps femori)

/ — волокна типа 1; 2 — волокна типа ПА; 3 — волокна типа ИВ

ных» волокон типа ПВ и более половины объема мышцы составляют наиболее универсальные промежуточные волокна типа ПА.

Дифференцировка скелетных мышц — сложный многоэтапный процесс, в котором уровень дефинитивной (зрелой) организации мышечных структур достигается только после завершения полового созревания. В процессе онтогенеза развиваются не отдельные мышечные волокна, а суперструктуры — двигательные единицы, в которых изменение состояния мышечных волокон определяется в первую очередь развитием соответствующих мотонейронов.

Динамика роста скелетных мышц

Мышцы в онтогенезе растут иначе, чем другие ткани: если у большинства этих тканей по мере развития снижаются темпы роста, то у мышц максимальная скорость роста приходится на заключительный пубертатный скачок роста. В то время как, например, относительная масса мозга у человека от рождения до взрослого состояния снижается с 10 до 2 %, относительная масса мышц возрастает с 22 до 40 %.

На рис. 37 показаны константы скорости роста мышц верхних и нижних конечностей у мальчиков 7—17 лет. В возрасте 7—8 лет мышцы верхних и нижних конечностей растут относительно медленно. В возрастном интервале 8—9 лет скорости роста увеличиваются. Это относится в особенности к мускулатуре рук. Затем в возрасте 10—11 лет интенсивность ростовых процессов резко понижается. На 12-летний возраст приходится увеличение скорости роста мышц рук (пубертатный рост начинается с верхних конечностей). В 12—13 лет интенсивно растет мускулатура ног.

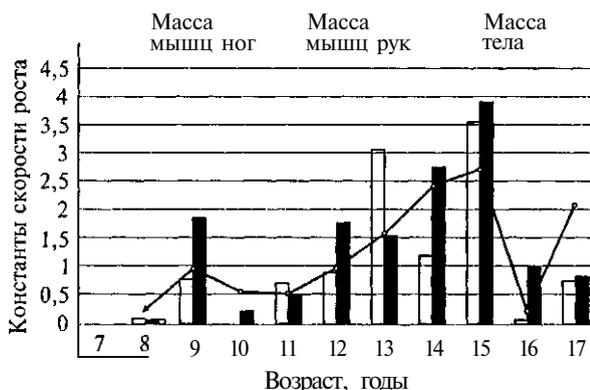


Рис. 37. Скорость роста массы тела и мышц конечностей у мальчиков школьного возраста

В 13—14 лет опять отмечается торможение роста мышц ног, явно связанное с первой фазой пубертатных дифференцировок мышечных волокон. Вторая фаза этого процесса приходится на 16 лет, когда вновь тормозится скорость роста. На рис. 37 приведена и динамика константы скорости роста массы тела обследованных. Видно, что она в значительной степени отражает изменения мышечной массы.

Работа мышц

Любое движение, которое совершает человек, происходит за счет сокращения его мышц. Сокращаясь, мышцы приводят в действие систему рычагов, из которых состоит скелет, за счет их перемещения и происходит движение рук, ног, туловища, головы, каждого пальца и т.д. Из школьного курса физики известно: для того чтобы какое-либо тело начало двигаться, необходимо к нему приложить силу, а результат перемещения представляет собой работу. Например, если гиря массой 1 кг поднята на высоту 1 м, то совершена работа 1 кГм (килограммометр). Сокращение мышц позволяет перемещать в пространстве части тела и грузы, т.е. выполнять мышечную работу.

Виды мышечной работы. Между физической работой и мышечной работой есть одно важное различие. Если груз находится на какой-то поверхности и давит на нее, но не перемещается, то с точки зрения физики никакой работы при этом не совершается. Если же этот груз лежит, например, на ладони, и также никуда не перемещается, мышечная работа все равно совершается, только эта работа связана не с перемещением, а с удержанием груза. Принято разделять мышечную работу на динамическую (перемещение в пространстве) и статическую (удержание в пространстве). Если человек просто стоит, то и тогда мышцы ног и туловища выполняют статическую работу. Всякая двигательная активность осуществляется за счет чередования динамической и статической работы мышц.

Для того чтобы совершилась динамическая работа, необходимо, чтобы сократившаяся мышца укоротилась. Тогда она сдвинет, приблизит друг к другу те элементы скелета, к которым прикреплена с помощью сухожилий своими концами. Например, если человек сгибает руку в локте, то при этом сокращается и укорачивается двуглавная мышца плеча, подтягивая дальний конец предплечья, к которому прикреплено сухожилие, ближе к плечу. Внутримышечное давление при этом почти не меняется, а мышца сильно изменяется в форме и размере. Такой режим сокращения мышцы называется *изотоническим* (от лат. «изо» — постоянный, одинаковый; тонус — давление).

Совершенно иначе работает мышца при статической нагрузке. Если удерживать на ладони вытянутой руки груз, то будет сокращаться та же двуглавая мышца плеча, но при этом ее длина не изменится (иначе бы предплечье, кисть и груз начали перемещаться), а внутримышечное давление сильно возрастет. Такой режим сокращения мышцы называется *изометрическим* («метр» — размер, длина). В ряде случаев мышцы работают в смешанном режиме, одновременно укорачиваясь и развивая значительное внутримышечное давление. Такой смешанный режим работы мышцы называется *плеометрическим* (от «плео» — полный, многочисленный).

Для организма важен не только объем работы, но и интенсивность, с которой она производится. В тех случаях, когда работа может быть точно измерена, показателем интенсивности является *мощность*, т.е. количество работы, выполняемой в единицу времени.

Зоны мощности. Мощность (интенсивность) совершаемой человеком мышечной работы никогда не равна нулю, так как даже лежа, в полном покое, человек непрерывно совершает работу, связанную с поддержанием позы, у него сокращаются дыхательные мышцы, многие мелкие мышцы. Однако мощность мышечной работы не может увеличиваться беспредельно: у каждого человека есть определенный максимальный уровень интенсивности, превысить который человек не может (как невозможно, например, сдвинуть за счет мускульной силы стену кирпичного здания или многотонную глыбу). Диапазон между минимальным и максимальным уровнем интенсивности мышечной работы называется *функциональным диапазоном* скелетных мышц. Этот функциональный диапазон не является однородным и состоит из отдельных *зон мощности*. Чем выше мощность работы, тем меньше время, в течение которого эта мощность может поддерживаться. В зоне умеренной мощности работа может продолжаться от нескольких часов до получаса. В зоне большой мощности длительность работы не превышает 30 мин. В зоне субмаксимальной мощности длительность работы колеблется от 3 мин до 30 с. В зоне максимальной мощности время работы может быть 30 с или меньше.

Для каждой из зон мощности характерны свои, специфические особенности энергетического и вегетативного обеспечения мышечной работы. Так, в зоне умеренной мощности работа обеспечивается почти исключительно аэробными механизмами, в сокращениях принимают участие главным образом «медленные» двигательные единицы, входящие в их состав мышечные волокна получают энергию благодаря окислению углеводов и жиров в митохондриях, поэтому здесь крайне важна бесперебойная доставка достаточного количества кислорода. В зоне максимальной мощности работают в основном волокна типа IIА, которые обладают

большой мощностью и большим запасом креатинфосфата. В зоне субмаксимальной мощности преимущественно активированы волокна типа ИВ, для которых главным источником энергии является анаэробный гликолиз. Они не зависят непосредственно от поставки кислорода, но в процессе работы вырабатывают большое количество молочной кислоты, которую необходимо удалить, чтобы не произошло закисление внутренней среды организма. Эта задача решается в организме за счет активации окислительных процессов в печени, не сокращающихся мышцах и некоторых других органах. Зона большой мощности характеризуется смешанным энергообеспечением, т.е. совместным функционированием аэробного и анаэробно-гликолитического источников энергии. Работа в этой зоне обеспечивается сокращением волокон обоих типов.

Структура зон мощности определяется объективными законами сокращения мышц, а также зависит от индивидуальных, половых, возрастных особенностей. Так, в период от 7 до 17 лет относительная ширина зон мощности и их соотношение между собой значительно меняется (рис. 38). С возрастом расширяется весь функциональный диапазон, особенно за счет увеличения зон большой, субмаксимальной и максимальной мощности. О физиологических причинах этих возрастных изменений будет сказано ниже.

Экономичность мышечной работы. Согласно закону сохранения энергии, для того чтобы выполнить любую работу, необходимо затратить пропорциональное количество энергии. При этом затраты энергии всегда значительно больше, чем объем выполненной работы. Отношение выполненной работы к затраченной энергии

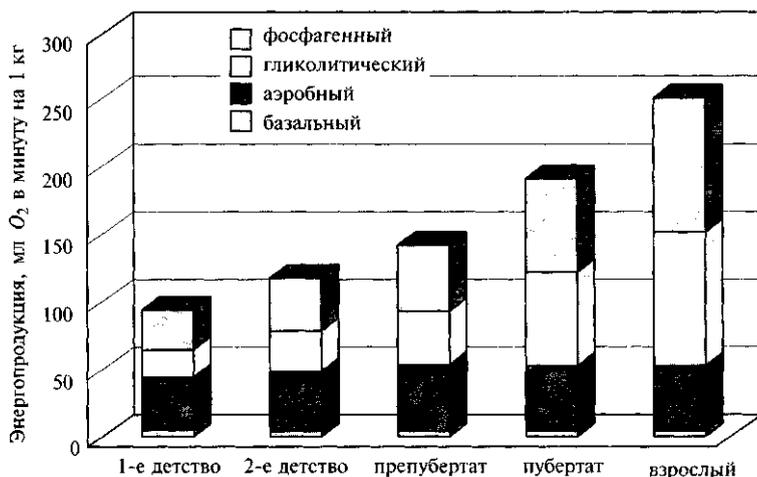


Рис. 38. Возрастные изменения функционального диапазона скелетных мышц и зон мощности

называется коэффициентом полезного действия и выражается в процентах.

Коэффициент полезного действия (КПД) характеризует экономичность мышечной работы и очень существенно варьирует в зависимости от вида и условий деятельности (табл.12). Для сравнения здесь же приведены КПД некоторых технических устройств, созданных человеком за последние 200 лет.

Следует иметь в виду, что КПД системы есть произведение частных КПД всех элементов системы. КПД организма при мышечной работе представляет собой произведение следующих частных КПД:

- 1) КПД мышечного сокращения — 80%;
- 2) КПД ресинтеза макроэргов — 90%;
- 3) КПД транспортных систем организма — 60%;
- 4) КПД биомеханических структур организма — 80%.

Таблица 12

КПД различных движителей и скелетных мышц человека в разных условиях деятельности

Движитель	Вид деятельности (род работы), техническое средство	КПД, %
Паровая машина	Паровоз, паровой молот и т.п.	5-8
Двигатель внутреннего сгорания	Автомобиль, поршневой самолет	20-25
Дизельный двигатель	Автомобиль, моторное судно, трактор	35-40
Ядерная энергетическая установка	Судовой энергоблок; АЭС	30
Реактивный двигатель	Реактивный самолет, ракета	15-20
Электродвигатель	Электрические приводы машин и механизмов	70-80
Скелетные мышцы человека	Скоростной бег, подъем штанги, прыжок	10-12
	Бег на средние дистанции, игра в хоккей, большой теннис	12-15
	Бег на длинные дистанции, лыжные гонки, велосипед (шоссе)	18-20
	Марафонский бег, прогулка	25-30

Интенсивность нагрузки, при которой отмечается самый высокий КПД мышечной работы характеризует *зону экономичных режимов* мышечной деятельности. Эта зона расположена между зонами умеренной и большой мощности. Работа такой интенсивности

наиболее благоприятна для поддержания функциональных возможностей человека, но ее тренировочный эффект невелик: она оптимальна для разминки и восстановительных упражнений после напряженной физической нагрузки.

Всякий нормальный человек в естественных условиях произвольной деятельности выбирает такую интенсивность движений, которая соответствует зоне экономичных режимов (принцип энергетического оптимума Ньюбар-Контини). Это правило справедливо для здоровых людей в возрасте от 6 до 70 лет. Однако с годами у человека меняется интенсивность, соответствующая зоне экономичных режимов. Поэтому при проведении физкультурных занятий в смешанных возрастных группах (например, в условиях туристических походов, массовых забегов и т.п.) не всегда удается выбрать такой темп движений, который был бы одинаково оптимален для маленьких и больших. Это необходимо учитывать.

Энергетическое и вегетативное обеспечение мышечной работы

Затраты энергии при мышечной деятельности могут быть учтены и измерены достаточно полно. Энергетические затраты зависят от интенсивности и объема нагрузки. Суммарные энергозатраты складываются из неперменных энергетических затрат на поддержание жизнедеятельности организма; энергетических затрат на обеспечение сокращения выполняющих работу скелетных мышц; дополнительных энергетических затрат на усиленную работу сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем при мышечной деятельности; постоянных энергетических затрат на поддержание позы; нарастающих энергетических затрат на нормализацию внутренней среды организма, изменяющейся под воздействием мышечной нагрузки.

Только в отдельных случаях удастся количественно оценить каждый из этих компонентов энергозатрат. Главный смысл изменений деятельности всех физиологических систем при мышечной работе — обеспечение необходимого уровня энергетических затрат в каждом из перечисленных компонентов.

Вегетативные системы. Физиологические системы организма, обеспечивающие его нормальную жизнедеятельность в условиях покоя и мышечной деятельности, называются *вегетативными*. К ним относятся дыхание, кровообращение, пищеварение, выделение и т.п. При мышечной работе активность всех вегетативных систем изменяется таким образом, чтобы создать наилучшие условия снабжения работающих мышц энергией, а также свести к минимуму те отрицательные сдвиги во внутренней среде организма, которые возникают вследствие интенсивных обмен-

ных процессов в мышцах. Соответствие активности вегетативных систем потребностям организма обеспечивается за счет нервной и гуморальной регуляции.

Реакция вегетативных систем на нагрузку. Если нагрузка на мышцы постепенно увеличивается, т.е. растет мощность внешней механической работы, то соответственно увеличиваются потребление кислорода, скорость кровотока, вентиляция легких и т. п. Большинство показателей деятельности вегетативных систем организма *линейно* зависит от мощности нагрузки, т.е. увеличение мощности на некоторую конкретную величину приводит к соответствующему, всегда одинаковому, увеличению таких показателей, как, например, потребление кислорода, частота пульса и др. (рис. 39). Однако это справедливо только в том случае, если такие измерения производятся при работе в устойчивом состоянии, т.е. не менее чем через 2—3 мин после начала нагрузки или ее очередного повышения. Эти 2—3 мин необходимы организму для того, чтобы отрегулировать уровень активности вегетативных функций в соответствии с энергетическим запасом скелетных мышц.

Линейная зависимость между величиной нагрузки и показателями деятельности физиологических систем организма позволяет оценивать интенсивность нагрузки по величине частоты пульса или потребления кислорода, когда строгое измерение мощности работы невозможно. И наоборот, зная величину нагрузки, можно прогнозировать уровень активности той или иной физиологической системы. На этом основана, в частности, методика измерения «физической работоспособности при пульсе 170 уд/мин» (сокращенно — ΦP_{170} , или PWC_{170} — по первым буквам английских слов «физическая», «работа», «способность»). Эта методика такова: испытуемый выполняет поочередно два различных по нагрузке задания и оба раза у него измеряют частоту пульса в устойчивом состоянии, т.е. не ранее, чем через 3 мин после начала работы. Полученные величины отмечают на графике точками, а затем проводят через них прямую и находят точку ее пересечения с прямой, отражающей уровень частоты пульса 170 уд/мин. Опустив из точки пересечения перпендикуляр на ось абсцисс с нанесенными

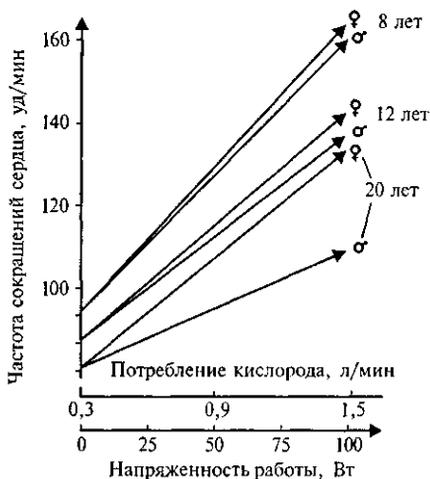


Рис. 39. Возрастные и половые различия зависимости частоты пульса от уровня нагрузки

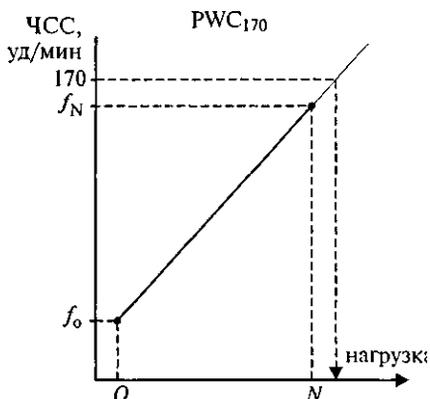


Рис. 40. Схема графического определения PWC_{170}

f_0 — пульс при первой нагрузке; f_N — пульс при второй нагрузке; O и N — мощность первой и второй нагрузки. Стрелки указывают величину PWC_{170} на шкале мощности

на ней величинами мощности нагрузки (рис. 40), получают результат, выраженный в единицах мощности. Это и будет значением PWC_{170} . Вместо графического можно использовать способ расчета PWC_{170} по формуле, основанной на уравнении прямой. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, тест PWC_{170} либо его аналог (PWC_{150} , PWC_{130} и т.п.) проводится во всех случаях, когда необходимо определить физические кондиции человека и охарактеризовать его физическое здоровье.

Для детей и подростков школьного возраста определение PWC_{170} может быть не-

сколько упрощено за счет того, что вместо двух нагрузок допустимо задавать лишь одну, но обязательно, чтобы частота пульса при этом достигала 140 уд/мин или более. Тогда второй точкой на графике можно отмечать значение пульса покоя. У дошкольников моложе 6 лет корректное измерение величины PWC_{170} невозможно, поскольку они не могут поддерживать устойчивое состояние активности своих вегетативных функций.

Измерение PWC_{170} — простой и эффективный способ оценки функциональных возможностей организма при работе в зонах умеренной и большой мощности, в которых и осуществляется главным образом жизнедеятельность организма. Хотя измеряемой величиной в этом тесте является частота пульса, оцениваются в комплексе все составляющие кислород-транспортной системы организма. Отклонения от нормы в любой из важнейших систем — кровообращения, дыхания, двигательного аппарата — сразу же проявятся в значительно более низких показателях PWC_{170} . Напротив, почти любой вид тренированности приводит к существенному увеличению PWC_{170} .

Нелинейные зависимости. Линейная зависимость показателей активности вегетативных систем организма от мощности имеет место только в диапазоне нагрузок, где энергетическое обеспечение непосредственно связано с доставкой кислорода к работающим мышцам, т.е. в «аэробном» диапазоне (зоны умеренной и большой мощности). Если же заданная нагрузка лежит в зоне субмаксимальной или максимальной мощности, то линейной зави-

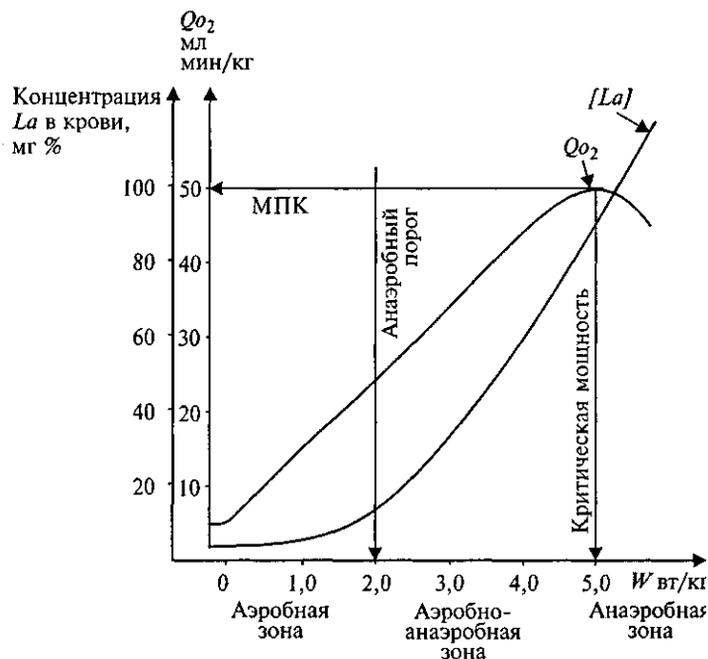


Рис. 41. Примеры нелинейных зависимостей параметров энергетического обмена от мощности мышечной работы

L_a — концентрация лактата в крови; Q_{O_2} — скорость потребления кислорода

симости между показателями работы физиологических функций и уровнем нагрузки не наблюдается (рис. 41). В большинстве случаев показатели деятельности вегетативных систем растут по мере повышения мощности нагрузки до определенного предела, после которого их увеличение прекращается, а если мощность продолжает возрастать, то возможно даже снижение этих показателей. Такой уровень активности вегетативной функции, который может быть достигнут при самой интенсивной работе в аэробных условиях, называется *максимальным*. Если функция достигла своего максимального уровня, то дальнейшее увеличение мощности нагрузки может привести только к снижению показателя.

Некоторые показатели активности вегетативных функций в естественных условиях мышечной деятельности не могут достичь своего максимального уровня. Так, максимальная вентиляция легких возможна только при произвольном наиболее частом и глубоком дыхании. Другие функции, такие как частота пульса, объемная скорость кровотока и потребление кислорода, могут достичь максимума только в условиях мышечной деятельности. Максимальные уровни частоты пульса и потребления кислорода обычно достигаются при одинаковой нагрузке. Мощность такой нагрузки,

при которой частота пульса и потребление кислорода достигают максимального уровня, называют *критической*. Нагрузки критической мощности очень трудоемки и не могут продолжаться долго (обычно не более 3—5 мин).

Аэробная производительность и аэробный диапазон. Величина максимального потребления кислорода (МПК) — один из главных показателей в физиологии мышечной деятельности. Физиологический смысл величины МПК состоит в том, что она отражает суммарную пропускную способность всех механизмов транспорта кислорода, начиная от транспорта газов в легких и кончая транспортом электронов в митохондриях скелетно-мышечных волокон. При этом, поскольку скорость поглощения кислорода пропорциональна мощности работы, которая может за счет этого выполняться, величину МПК называют еще «аэробной производительностью» организма.

Диапазон нагрузок от состояния покоя до критической мощности, при которой достигается МПК, называют «аэробным диапазоном». Хотя большая часть потребности организма в энергии при нагрузках в аэробном диапазоне действительно покрывается за счет использования кислорода, бескислородные (анаэробные) источники также обязательно участвуют в энергообеспечении мышечной работы, по крайней мере в период вратывания.

Поддержание гомеостаза при мышечной нагрузке. Изменение внутренней среды, происходящие во время мышечной работы, требуют напряжения механизмов гомеостаза. Поскольку при нагрузке обменные процессы ускоряются во много раз, во столько же раз больше образуется разнообразных продуктов, подлежащих удалению из организма, а также метаболической воды. Одновременно резко увеличивается температура тела, поскольку вся энергия, освободившаяся в клетках и не превращенная в механическую работу, преобразуется в тепло, и это тепло нагревает организм. Учитывая, что в режиме МПК человек вырабатывает около 1200—1500 Вт энергии, и лишь 1/5 ее часть реализуется в виде механической работы, можно себе представить, как быстро нагрелся бы организм, если бы не работали системы терморегуляции.

Физиологическая «стоимость» физической работы. Физическая работа, которую выполняет человек, отнюдь не идентична той механической работе, которая оценивается с помощью эргометрических методов. Ни интенсивность, ни объем внешней механической работы, которую может выполнить человек, сами по себе ничего не говорят о той физиологической «цене», которую платит организм при физической нагрузке. Под «физиологической ценой» нагрузки мы понимаем ту добавочную работу, которую вынуждены выполнять системы организма (в том числе в восстановительном периоде) для компенсации затрат на поддержание гомеостаза. Для ее оценки можно использовать некоторые показате-

тели сердечной деятельности и потребления кислорода, зарегистрированные во время работы и в восстановительном периоде.

Возрастные этапы становления энергетики мышечной деятельности. Первый год жизни ребенка представляет собой период бурного становления мышечной функции и, разумеется, ее энергетического и вегетативного обеспечения. Этот этап продолжается до возраста 3 лет, после чего преобразования в мышцах тормозятся, и следующий этап начинается вместе с полуростовым скачком примерно в 5 лет. Важнейшим событием здесь является появление уже близких ко взрослому варианту типов мышечных волокон, хотя их соотношение еще является «детским», да и функциональные возможности вегетативных систем еще недостаточно велики. В школьном возрасте ребенок проходит еще целый ряд этапов, только на последнем из них достигая «взрослого» уровня регуляции, функциональных возможностей и энергетики скелетных мышц:

1-й этап — возраст от 7 до 9 лет — период поступательного развития всех механизмов энергетического обеспечения с преимуществом аэробных систем;

2-й этап — возраст 9—10 лет — период «расцвета» аэробных возможностей, роль анаэробных механизмов мала;

3-й этап — период от 10 до 12—13 лет — отсутствие увеличения аэробных возможностей, умеренное увеличение анаэробных возможностей, развитие фосфагенного и анаэробно-гликолитического механизмов протекает синхронно;

4-й этап — возраст от 13 до 14 лет — существенное увеличение аэробных возможностей, торможение развития анаэробно-гликолитического механизма энергообеспечения; фосфагенный механизм развивается пропорционально увеличению массы тела;

5-й этап — возраст 14—15 лет — прекращение увеличения аэробных возможностей, резкое увеличение емкости анаэробно-гликолитического процесса, развитие фосфагенного механизма, по-прежнему, пропорционально увеличению массы тела;

6-й этап — период от 15 до 17 лет — аэробные возможности растут пропорционально массе тела, продолжают быстро расти анаэробно-гликолитические возможности, значительно ускоряется развитие механизмов фосфагенной энергопродукции, завершается формирование дефинитивной структуры энергообеспечения мышечной деятельности.

На процессы созревания энергетических и вегетативных систем огромное влияние оказывает половое созревание, так как половые гормоны непосредственно влияют на метаболические возможности скелетных мышц. Аэробное энергообеспечение, достигающее расцвета еще до начала пубертата, на первых его стадиях даже несколько ухудшается, однако к возрасту 14 лет отмечается новый рост возможностей аэробных систем энергообеспе-

чения. Это связано, в частности, с внутренними потребностями мышц, которым для последнего этапа дифференцировок требуются мощные окислительные системы. Анаэробное энергообеспечение резко активизируется уже на начальных стадиях полового созревания, затем (III стадия) темп его совершенствования замедляется, а после достижения IV стадии полового созревания (15—16 лет у мальчиков, 13—14 лет у девочек) наблюдается бурный рост анаэробных возможностей, особенно у юношей. Девушки в этот период уже сильно отличаются от юношей по характеру и уровню развития мышечной энергетики.

Вопросы и задания

1. Расскажите о мышечных волокнах и их онтогенезе.
2. Какова динамика роста мышц?
3. Расскажите о видах мышечной работы. Что такое зоны мощности?
4. Перечислите функции вегетативных систем. Какова их роль в обеспечении мышечной работы?
5. Какие этапы становления энергетики мышечной деятельности вы знаете?

Раздел III

ОРГАНИЗМ КАК ЦЕЛОЕ

Глава 11. НЕРВНАЯ СИСТЕМА: ЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Функционирование организма как единого целого, взаимодействие отдельных его частей, сохранение постоянства внутренней среды (гомеостаза) осуществляются двумя регуляторными системами: нервной и гуморальной.

Значение нервной системы. Основными функциями нервной системы являются: 1) быстрая и точная передача информации о состоянии внешней и внутренней среды организма; 2) анализ и интеграция всей информации; 3) организация адаптивного реагирования на внешние сигналы; 4) регуляция и координация деятельности всех органов и систем в соответствии с конкретными условиями деятельности и изменяющимися факторами внешней и внутренней среды организма. С деятельностью высших отделов нервной системы связано осуществление психических процессов и организация целенаправленного поведения.

Нервная система, являясь единой и высоко интегрированной, на основе структурных и функциональных особенностей, подразделяется на две основные части — центральную и периферическую.

Центральная нервная система включает головной и спинной мозг, где расположены скопления нервных клеток — нервные центры, осуществляющие прием и анализ информации, ее интеграцию, регуляцию целостной деятельности организма, организацию адаптивного реагирования на внешние и внутренние воздействия.

Периферическая нервная система состоит из нервных волокон, расположенных вне центральной нервной системы. Одни из них — афферентные (чувствительные) волокна — передают сигналы от рецепторов, находящихся в разных частях тела в центральную нервную систему, другие — эффекторные (двигательные) волокна — из центральной нервной системы на периферию.

Нейрон — основная структурно-функциональная единица нервной системы. Нейроны — высокоспециализированные клетки, приспособленные для приема, кодирования, обработки, интеграции,

хранения и передачи информации. Нейрон состоит из тела и отростков двух типов: коротких ветвящихся дендритов и длинного отростка — аксона (рис. 42).

Тело клетки имеет диаметр от 5 до 150 микрон. Оно является биосинтетическим центром нейрона, где происходят сложные метаболические процессы. Тело содержит ядро и цитоплазму, в

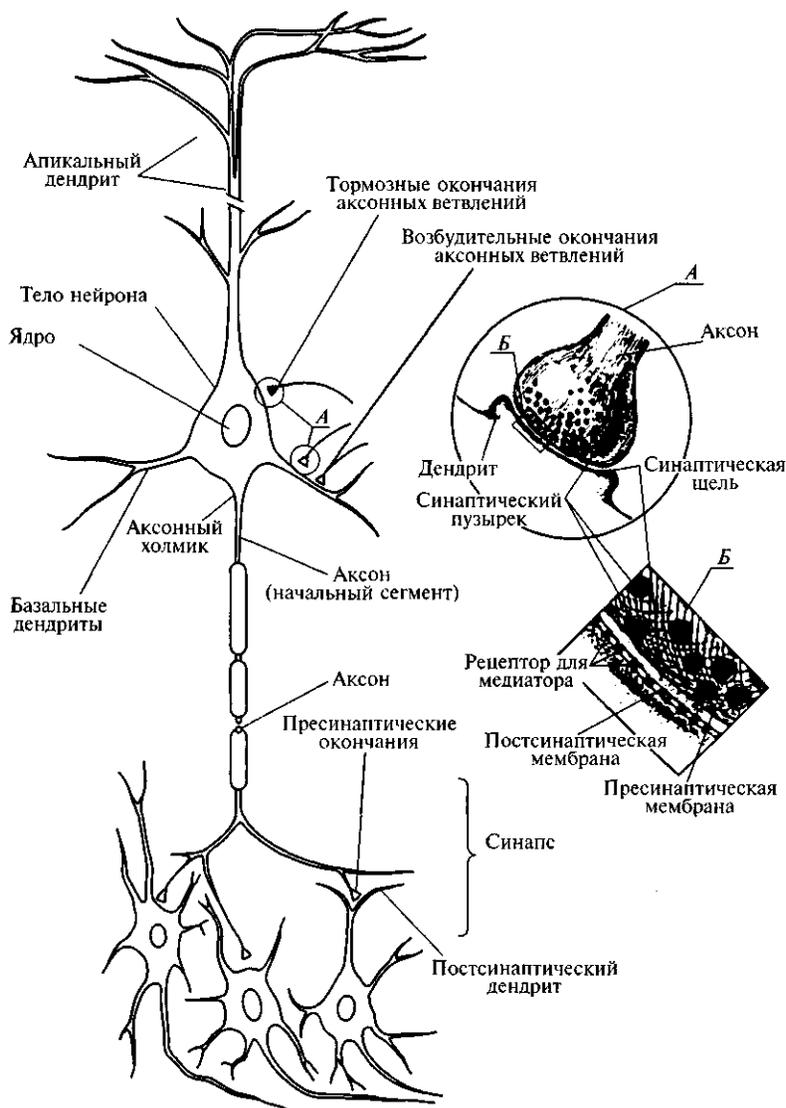


Рис. 42. Строение нейрона
синапс отдельно; Б — участок синапса, выделенный на Л

которой расположено множество органелл, участвующих в синтезе клеточных белков (протеинов).

Аксон. От тела клетки отходит длинный нитевидный отросток аксон, выполняющий функцию передачи информации. Аксон покрыт особой миелиновой оболочкой, создающей оптимальные условия для проведения сигналов. Конец аксона сильно ветвится, его конечные веточки образуют контакты со множеством других клеток (нервных, мышечных и др.). Скопления аксонов образуют нервное волокно.

Дендриты — сильно ветвящиеся отростки, которые во множестве отходят от тела клетки. От одного нейрона может отходить до 1000 дендритов. Тело и дендриты покрыты единой оболочкой и образуют воспринимающую (рецептивную) поверхность клетки. На ней расположена большая часть контактов от других нервных клеток — *синапсов*. Клеточная оболочка — *мембрана* — является хорошим электрическим изолятором. По обе стороны мембраны существует электрическая разность потенциалов — мембранный потенциал, уровень которого изменяется при активации синаптических контактов.

Синапс имеет сложное строение (см. рис. 42). Он образован двумя мембранами: пресинаптической и постсинаптической. Пресинаптическая мембрана находится на окончании аксона, передающего сигнал; постсинаптическая — на теле или дендритах, к которым сигнал передается. В синапсах при поступлении сигнала из синаптических пузырьков выделяются химические вещества двух типов — возбуждающие (ацетилхолин, адреналин, норадреналин) и тормозящие (серотонин, гамма-аминомасляная кислота). Эти вещества — *медиаторы*, действуя на постсинаптическую мембрану, изменяют ее свойства в области контактов. При выделении возбуждающих медиаторов в области контакта возникает возбуждающий постсинаптический потенциал (ВПСП), при действии тормозящих медиаторов — соответственно тормозящий постсинаптический потенциал (ТПСП). Их сумма приводит к изменению внутриклеточного потенциала в сторону деполяризации или гиперполяризации. При деполяризации клетка генерирует импульсы, передающиеся по аксону к другим клеткам или работающему органу. При гиперполяризации нейрон переходит в тормозное состояние и не генерирует импульсную активность (рис. 43). Множественность и разнообразие синапсов обеспечивает возможность широких межнейрональных связей и участие одного и того же нейрона в разных функциональных объединениях.

Классификация нейронов. Имея принципиально общее строение, нейроны сильно различаются размерами, формой, числом, ветвлением и расположением дендритов, длиной и разветвленностью аксона, что свидетельствует об их высокой специализации (рис. 44). Выделяются следующие два основных типа нейронов.

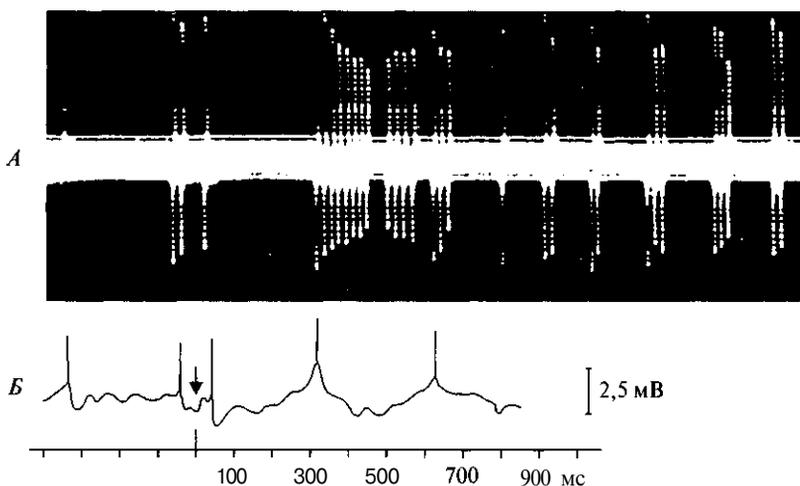


Рис. 43. Импульсная активность нейронов при внеклеточной (А) и внутриклеточной (Б) регистрации. Стрелка — момент нанесения стимула. На Б видна генерация спайков на вершинах возбудительных постсинаптических потенциалов

Пирамидные клетки — крупные нейроны разного размера («коллекторы»), на которых сходятся (конвергируют) импульсы от разных источников.

Дендриты пирамидных нейронов пространственно организованы. Один отросток — апикальный дендрит — выходит из вершины пирамиды, ориентирован вертикально и имеет конечные горизонтальные разветвления. Другие — базальные дендриты — разветвляются у основания пирамиды. Дендриты густо усеяны специальными выростами — шипиками, которые повышают эффективность синаптической передачи. По аксонам пирамидных нейронов импульсация передается другим отделам ЦНС. Пирамидные нейроны по своей функции подразделяются на два типа: афферентные и эфферентные. *Афферентные* передают и принимают сигнал из сенсорных рецепторов, мышц, внутренних органов в центральную нервную систему. Нервные клетки, передающие сигналы из центральной нервной системы на периферию, называются *эфферентными*.

Вставочные клетки или интернейроны. Они меньше по размерам, разнообразны по пространственному расположению отростков (веретенообразные, звездчатые, корзинчатые). Общим для них является широкая разветвленность дендритов и короткий аксон с разной степенью ветвления. Интернейроны обеспечивают взаимодействие различных клеток и поэтому иногда называются ассоциативными.

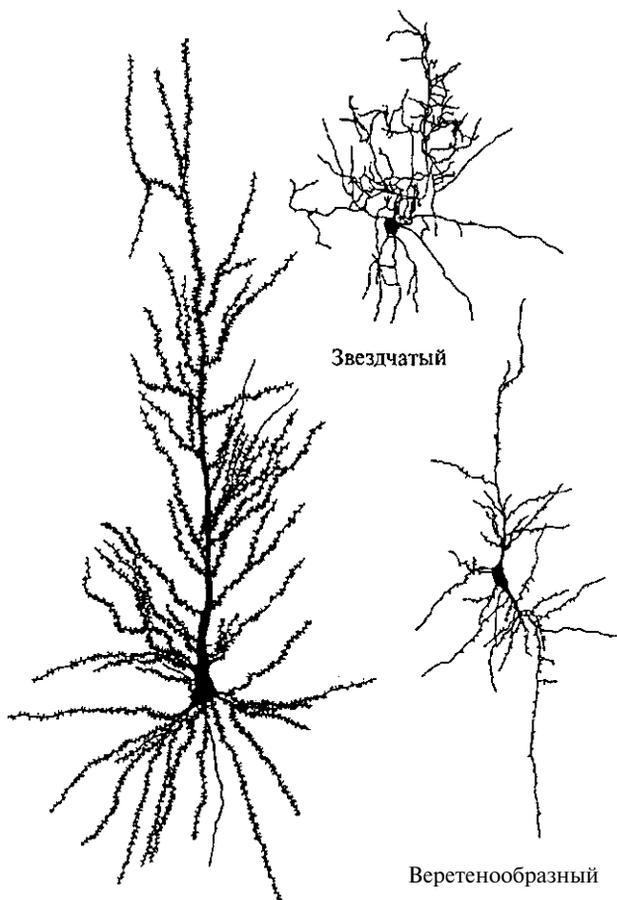


Рис. 44. Типы нейронов в коре больших полушарий человека

Представленность разных типов нейронов и характер их взаимосвязи существенно различаются в разных структурах мозга.

Возрастные изменения структуры нейрона и нервного волокна. На ранних стадиях эмбрионального развития нейрон, как правило, состоит из тела, имеющего два недифференцированных и неветвящихся отростка. Тело содержит крупное ядро, окруженное небольшим слоем цитоплазмы. Процесс созревания нейронов характеризуется быстрым увеличением цитоплазмы, увеличением в ней числа рибосом и формированием аппарата Гольджи, интенсивным ростом аксонов и дендритов. Различные типы нервных клеток созревают в онтогенезе гетерохронно. Наиболее рано (в эмбриональном периоде) созревают крупные афферент-

ные и эфферентные нейроны. Созревание мелких клеток (интернейронов) происходит после рождения (в постнатальном онтогенезе) под влиянием средовых факторов, что создает предпосылки для пластических перестроек в центральной нервной системе.

Отдельные части нейрона тоже созревают неравномерно. Наиболее поздно формируется дендритный шипиковый аппарат, развитие которого в постнатальном периоде в значительной мере обеспечивается притоком внешней информации.

Покрывающая аксоны миелиновая оболочка интенсивно растет в постнатальном периоде, ее рост ведет к повышению скорости проведения импульса по нервному волокну.

Миелинизация проходит в таком порядке: сначала — периферические нервы, затем волокна спинного мозга, стволовая часть головного мозга, мозжечок и позже — волокна больших полушарий головного мозга. Двигательные нервные волокна покрываются миелиновой оболочкой уже к моменту рождения, чувствительные (например, зрительные) волокна — в течение первых месяцев постнатальной жизни ребенка.

Вопросы и задания

1. В чем значение нервной системы?
2. Перечислите основные отделы нервной системы? Кратко охарактеризуйте их.
3. Что является элементарной структурной единицей нервной системы? Из каких частей она состоит?
4. Синапсы и их роль. Как осуществляется передача сигналов с одной клетки на другую?
5. Охарактеризуйте возрастные преобразования нейронов и нервных волокон.

Глава 12. СТРОЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Спинной мозг

Спинной мозг представляет собой длинный тяж. Он заполняет полость позвоночного канала и имеет сегментарное строение, соответствующее строению позвоночника.

В центре спинного мозга расположено серое вещество — скопление нервных клеток, окруженное белым веществом, образован-

ным нервными волокнами (см. рис. 68). В спинном мозге находятся *рефлекторные центры* мышц туловища, конечностей и шеи. С их участием осуществляются сухожильные рефлексы в виде резкого сокращения мышц (коленный, ахиллов рефлексы), рефлексы растяжения, сгибательные рефлексы, рефлексы, направленные на поддержание определенной позы. Рефлексы мочеиспускания и дефекации, рефлекторного набухания полового члена и извержения семени у мужчин (эрекция и эякуляция) также связаны с функцией спинного мозга.

Спинной мозг осуществляет и *проводниковую функцию*. Нервные волокна, составляющие основную массу белого вещества, образуют проводящие пути спинного мозга. По этим путям устанавливается связь между различными частями ЦНС и проходят импульсы в восходящем и нисходящем направлениях. По этим путям поступает информация в вышележащие отделы мозга, от которых отходят импульсы, изменяющие деятельность скелетной мускулатуры и внутренних органов.

Деятельность спинного мозга у человека в значительной степени подчинена координирующим влияниям вышележащих отделов ЦНС.

Обеспечивая осуществление жизненно важных функций, спинной мозг развивается раньше, чем другие отделы нервной системы. Когда у эмбриона головной мозг находится на стадии мозговых пузырей, спинной мозг достигает уже значительных размеров. На ранних стадиях развития плода спинной мозг заполняет всю полость позвоночного канала. Затем позвоночный столб обгоняет в росте спинной мозг, и к моменту рождения он заканчивается на уровне третьего поясничного позвонка. У новорожденных длина спинного мозга 14–16 см, к 10 годам она удваивается. В толщину спинной мозг растет медленно. На поперечном срезе спинного мозга детей раннего возраста отмечается преобладание передних рогов над задними. Увеличение размеров нервных клеток спинного мозга наблюдается у детей в школьные годы.

Головной мозг

Головной мозг состоит из трех основных отделов — заднего, среднего и переднего мозга, объединенных двусторонними связями.

Задний мозг является непосредственным продолжением спинного мозга. Он включает продолговатый мозг, мост и мозжечок.

Продолговатый мозг играет значительную роль в осуществлении жизненно важных функций. В нем расположены скопления нервных клеток — центры регуляции дыхания, сердечно-сосудистой системы и деятельности внутренних органов.

На уровне *моста* находятся ядра черепно-мозговых нервов. Через него проходят нервные пути, соединяющие вышележащие отделы с продолговатым и спинным мозгом.

Позади моста расположен *мозжечок*, с функцией которого в основном связывают координацию движений, поддержание позы и равновесия. Усиленный рост мозжечка отмечается на первом году жизни ребенка, что определяется формированием в течение этого периода дифференцированных и координированных движений. В дальнейшем темпы его развития снижаются. К 15 годам мозжечок достигает размеров взрослого.

Средний мозг (мезенцефалон) включает ножки мозга, четверохолмие и ряд скоплений нервных клеток (ядер). В области четверохолмия расположены первичные центры зрения и слуха, осуществляющие локализацию источника внешнего стимула. Эти центры находятся под контролем вышележащих отделов мозга. Они играют важнейшую роль в раннем онтогенезе, обеспечивая первичные формы сенсорного внимания. Ядра (черная субстанция и красное ядро) играют важную роль в координации движений и регуляции мышечного тонуса.

В среднем мозге расположена так называемая *сетчатая*, или *ретикулярная, формация*. В ее состав входят переключательные клетки, аккумулирующие информацию от афферентных путей. Восходящие пути от клеток ретикулярной формации идут во все отделы коры больших полушарий, оказывая тонические активирующие влияния. Это так называемая неспецифическая активирующая система мозга, которой принадлежит важная роль в регуляции уровня бодрствования, организации непроизвольного внимания и поведенческих реакций.

Передний мозг состоит из промежуточного мозга (диэнцефалона) и больших полушарий.

Промежуточный мозг включает две важнейшие структуры: таламус (зрительный бугор) и гипоталамус (подбугровая область). Гипоталамус играет важнейшую роль в регуляции вегетативной нервной системы. Вегетативные эффекты гипоталамуса, разных его отделов имеют неодинаковую направленность и биологическое значение. При функционировании задних отделов возникают эффекты симпатического типа, при функционировании передних отделов — эффекты парасимпатического типа. Восходящие влияния этих отделов также разнонаправлены: задние оказывают возбуждающее влияние на кору больших полушарий, передние — тормозящее. Связь гипоталамуса с одной из важнейших желез внутренней секреции — гипофизом — обеспечивает нервную регуляцию эндокринной функции.

В клетках ядер переднего гипоталамуса вырабатывается нейросекрет, который по волокнам гипоталамо-гипофизарного пути транспортируется в нейрогипофиз. Этому способствуют и обиль-

ное кровоснабжение, и наличие сосудистых связей гипоталамуса и гипофиза.

Гипоталамус принимает участие в регуляции температуры тела, водного обмена, обмена углеводов. Ядра гипоталамуса участвуют во многих сложных поведенческих реакциях (половые, пищевые, агрессивно-оборонительные). Гипоталамус играет важную роль в формировании основных биологических мотиваций (голод, жажда, половое влечение), а также положительных и отрицательных эмоций. Многообразие функций гипоталамуса дает основание расценивать его как высший подкорковый центр регуляции жизненно важных процессов, их интеграции в сложные системы, обеспечивающие целесообразное приспособительное поведение.

Дифференцировка ядер гипоталамуса к моменту рождения не завершена и протекает в онтогенезе неравномерно. Развитие ядер гипоталамуса заканчивается в период полового созревания.

Таламус составляет значительную часть промежуточного мозга. Это многоядерное образование, связанное двусторонними связями с корой больших полушарий. В его состав входят три группы ядер. Релейные ядра передают зрительную, слуховую, кожно-мышечно-суставную информацию в соответствующие проекционные области коры больших полушарий. Ассоциативные ядра связаны с деятельностью ассоциативных отделов коры больших полушарий. Неспецифические ядра (продолжение ретикулярной формации среднего мозга) оказывают активизирующее влияние на кору больших полушарий.

Центростремительные импульсы от всех рецепторов организма (за исключением обонятельных), прежде чем достигнут коры головного мозга, поступают в ядра таламуса. Здесь поступившая информация перерабатывается, получает эмоциональную окраску и направляется в кору больших полушарий.

К моменту рождения большая часть ядер зрительных бугров хорошо развита. После рождения размеры зрительных бугров увеличиваются за счет роста нервных клеток и развития нервных волокон.

Онтогенетическая направленность развития структур промежуточного мозга состоит в увеличении их взаимосвязей с другими мозговыми образованиями, что создает условия для совершенствования координационной деятельности его различных отделов и мозга в целом. В развитии промежуточного мозга существенная роль принадлежит нисходящим влияниям коры больших полушарий.

Базальные ганглии (хвостатое ядро, полосатое тело, бледный шар) играют важнейшую роль в осуществлении двигательной функции, являясь связующим звеном между ассоциативными и двигательными областями коры больших полушарий.

Большие полушария головного мозга у взрослого человека составляют 80 % массы головного мозга. Они соединены пучками

нервных волокон, образующих мозолистое тело. В глубине больших полушарий расположена старая кора — гиппокамп, являющаяся одной из важнейших структур лимбической системы.

Лимбическая система, функционально объединяющая гиппокамп, гипоталамус, некоторые ядра таламуса и области коры, является важнейшей частью регуляторного контура (система структур, участвующих в регуляции нервных процессов в коре больших полушарий). Лимбическая система участвует в когнитивных, аффективных и мотивационных процессах.

Основной структурой больших полушарий является новая кора (неокортекс), покрывающая их поверхность.

Кора больших полушарий

Кора больших полушарий представляет собой тонкий слой серого вещества на поверхности полушарий. В процессе эволюции поверхность коры интенсивно увеличивалась по размеру за счет появления борозд и извилин. Общая площадь поверхности коры у взрослого человека достигает 2200—2600 см². Толщина коры в различных частях полушарий колеблется от 1,3 до 4,5 мм. В коре насчитывается от 12 до 18 млрд нервных клеток. Отростки этих клеток образуют огромное количество связей, что создает условия для обработки и хранения информации.

В коре каждого из полушарий выделяют четыре доли — лобную, теменную, височную и затылочную (рис. 45). Каждая из этих долей содержит функционально различные корковые области.

Проекционные сенсорные зоны, включающие первичные и вторичные корковые поля, принимают и обрабатывают информацию определенной модальности от органов чувств противополож-

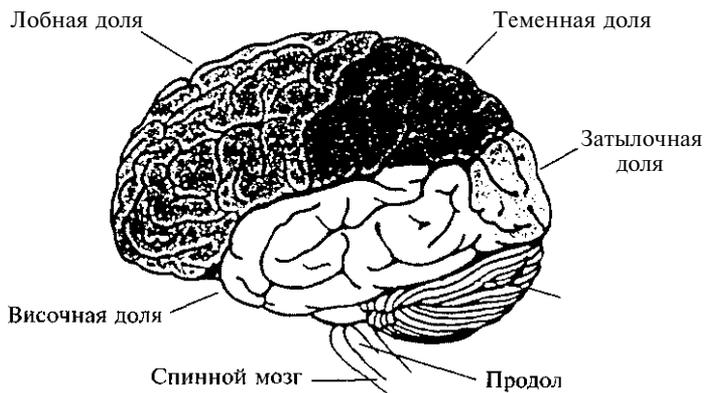


Рис. 45. Доли коры

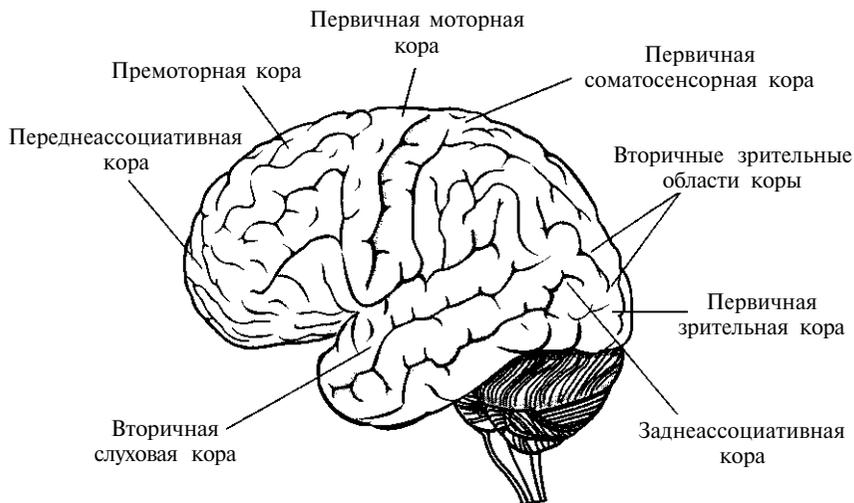
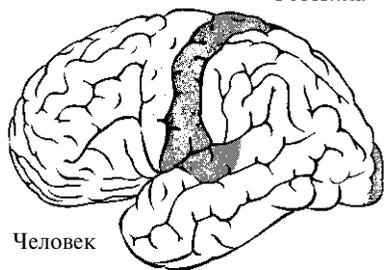


Рис. 46. Проекционные, ассоциативные и моторные области коры больших полушарий

ной половины тела (корковые концы анализаторов по И.П.Павлову). К их числу относятся зрительная кора, расположенная в затылочной доле, слуховая — в височной, соматосенсорная — в теменной доле (рис. 46).

Моторная кора каждого полушария, занимающая задние отделы лобной доли, осуществляет контроль и управление двигательными действиями противоположной стороны тела.

Ассоциативные области составляют у человека основную часть поверхности коры больших полушарий (третичные поля). На рис. 47 видно, как нарастает их удельный вес в эволюционном ряду. Именно с этими областями связано формирование познавательной деятельности и психических функций. Клинические наблюдения показывают, что при поражении заднеассоциативных областей на-



- первичная моторная кора
- первичные сенсорные (проекционные) зоны
- ГП вторичные сенсорные и моторные корковые области и ассоциативная кора

Рис. 47. Изменение соотношения проекционных ассоциативных областей в эволюционном ряду

рушаются сложные формы ориентации в пространстве, конструктивная деятельность, затрудняется выполнение всех интеллектуальных операций, которые осуществляются с участием пространственного анализа (счет, восприятие сложных смысловых изображений). Поражение лобных отделов коры приводит к невозможности осуществления сложных программ поведения, требующих выделения значимых сигналов на основе прошлого опыта и предвидения будущего. В ассоциативных областях коры левого полушария выделяются поля, непосредственно связанные с осуществлением речевых процессов, — центр Вернике в задневисочной коре, осуществляющий восприятие речевых сигналов, и центр Брока в нижних отделах лобной области коры, связанный с произнесением речи.

Нейронная организация коры больших полушарий. В коре больших полушарий человека различные специализированные типы нейронов и их отростки пространственно организованы и распределены по шести слоям (рис. 48). I слой состоит в основном из конечных разветвлений апикальных дендритов пирамидных нейронов. Во II слое сосредоточено значительное количество вставочных кле-

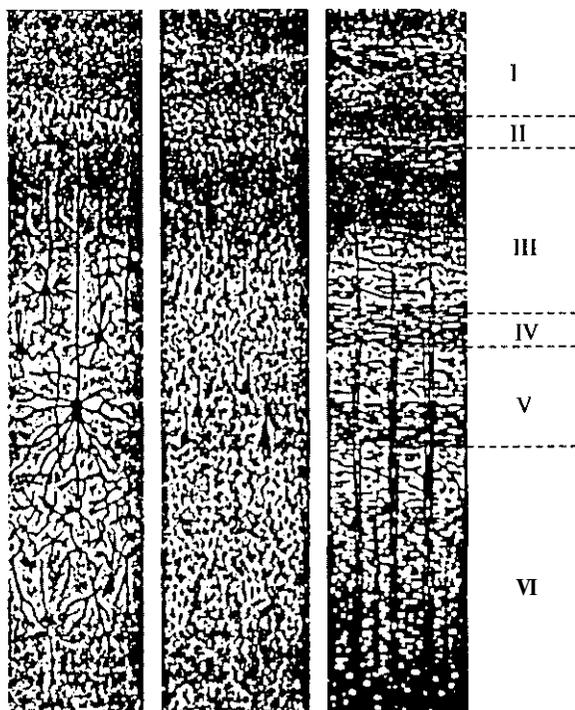


Рис. 48. Слои коры. Слева нейроны с отростками (окраска по Гольджи), в центре — тела нейронов разного типа и размера (окраска по Нисслю), справа — волокнистые структуры (окраска, выявляющая миелиновую оболочку)

Лестничная группировка



Гнездная группировка



Рис. 49. Нейронные группировки (ансамбли) в коре больших полушарий

ток с разветвленной системой дендритов, связанных с пирамидными нейронами II и III слоя. Это некрупные афферентные пирамиды. В IV и V слое расположены пирамиды большого размера, коллекторы информации, посылающие эфферентные волокна другим нейронам. Наиболее крупные пирамиды находятся в V слое двигательной коры (гигантские клетки Беца). Их длинные аксоны формируют пирамидный тракт (VI слой), проводящий импульсы, по которым осуществляется управление движениями.

Клетки разного типа, находящиеся в разных слоях коры, объединены большим количеством разнообразных связей и образуют определенные группировки — модули или ансамбли. В сенсорных проекционных отделах и моторной коре в объединениях преобладает вертикальная ориентация, определяемая апикальным дендритом. Это так называемые колонки или микроансамбли, в которых осуществляются аналитические процессы.

Кроме микроансамблей выделены более сложные группировки (лестничные, гнездные), включающие большое количество нейронов разных типов, и разветвленные базальные дендриты (рис. 49). Такие ансамбли чаще встречаются в ассоциативных областях и являются структурной основой более сложной обработки информации.

Помимо внутриансамблевых межнейронных связей, группировки нейронов имеют внешние связи. Выходящие за пределы

ансамблей терминальные аксоны образуют системы ассоциативных связей, благодаря которым происходит объединение нейронных ансамблей как внутри одной корковой зоны, так и между зонами.

Сложная разветвленная система внутрикорковых ассоциативных связей создает основу пластичной функциональной интеграции и системной организации деятельности мозга.

Созревание мозга в онтогенезе ребенка

Головной мозг как многоуровневая структура неравномерно созревает в ходе индивидуального развития. Во внутриутробном периоде одновременно с закладкой и развитием основных жизненно важных органов первыми начинают формироваться отделы мозга, где расположены нервные центры, обеспечивающие их функционирование (продолговатый мозг, ядра среднего и промежуточного мозга). К концу внутриутробного периода у человека определенной степени зрелости достигают первичные проекционные поля. К моменту рождения уровень зрелости структур мозга позволяет осуществлять как жизненно важные функции (дыхание, сосание и др.), так и простейшие реакции на внешние воздействия, т.е. осуществляется принцип минимального и достаточного обеспечения функций. Закономерный ход созревания структур мозга в пренатальном периоде обеспечивает нормальное индивидуальное развитие, нарушения созревания приводят к ближайшим и отдаленным неблагоприятным последствиям, проявляющимся в нервно-психическом статусе и поведении ребенка.

В постнатальном периоде продолжается интенсивное развитие мозга, в особенности его высших отделов — коры больших полушарий.

Нейронная организация коры больших полушарий в онтогенезе. В развитии коры больших полушарий выделяются два процесса — рост коры и дифференцировка ее нервных элементов. Наиболее интенсивное увеличение ширины коры и ее слоев происходит на первом году жизни, постепенно замедляясь и прекращаясь в разные сроки — к 3 годам в проекционных, к 7 годам в ассоциативных областях. Рост коры происходит за счет увеличения межнейронального пространства (разрежение клеток) в результате развития волокнистого компонента (роста и разветвления дендритов и аксонов) и клеток глии, осуществляющей метаболическое обеспечение развивающихся нервных клеток, которые увеличиваются в размерах.

Процесс дифференцировки нейронов, начинаясь также в раннем постнатальном периоде, продолжается в течение длительно-

го периода индивидуального развития, подчиняясь как генетическому фактору, так и внешнесредовым воздействиям.

Первыми созревают афферентные и эфферентные пирамиды нижних слоев коры, позже — расположенные в более поверхностных слоях. Постепенно дифференцируются различные типы вставочных нейронов. Раньше созревают веретенообразные клетки, переключающие афферентную импульсацию из подкорковых структур к развивающимся пирамидным нейронам. Звездчатые и корзинчатые клетки, обеспечивающие взаимодействие нейронов и циркуляцию возбуждения внутри коры, созревают позже. Заканчиваясь возбуждательными и тормозными синапсами на телах нейронов, эти клетки создают возможность структурирования импульсной активности нейронов (чередование разрядов и пауз), что является основой нервного кода. Дифференцировка вставочных нейронов, начавшаяся в первые месяцы после рождения, наиболее интенсивно происходит в период от 3 до 6 лет. Их окончательная типизация в переднеассоциативных областях коры отмечается к 14-летнему возрасту.

Функционально важным фактором формирования нейронной организации коры больших полушарий является развитие отростков нервных клеток — дендритов и аксонов, образующих волокнистую структуру.

Аксоны, по которым в кору поступает афферентная импульсация, в течение первых трех месяцев жизни покрываются миелиновой оболочкой, что существенно ускоряет поступление информации к нервным клеткам проекционной коры.

Вертикально ориентированные апикальные дендриты обеспечивают взаимодействие клеток разных слоев, и в проекционной коре они созревают в первые недели жизни, достигая к 6-месячному возрасту III слоя. Дорастая до поверхностных слоев, они образуют конечные разветвления.

Базальные дендриты, объединяющие нейроны в пределах одного слоя, имеют множественные разветвления, на которых образуются множественные контакты аксонов других нейронов. С ростом базальных дендритов и их разветвлений увеличивается воспринимающая поверхность нервных клеток.

Специализация нейронов в процессе их дифференциации и увеличение количества и разветвленности отростков создают условия для объединения нейронов разного типа в клеточные группировки — нейронные ансамбли. В нейронные ансамбли включаются также клетки глии и разветвления сосудов, обеспечивающие клеточный метаболизм внутри нейронного ансамбля.

В развитии коры и формировании ансамблевой организации в онтогенезе выделяют следующие этапы (рис. 50).

К моменту рождения вертикально расположенные пирамидные клетки в нижнем слое и их апикальные дендриты создают

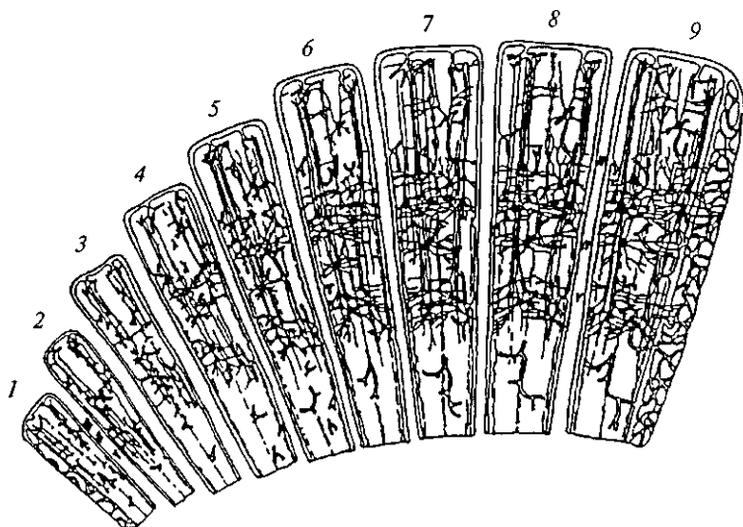


Рис. 50. Возрастные преобразования ансамблевой организации коры больших полушарий от рождения до 20 лет. Схема построена на основе результатов морфологического исследования мозга человека
 1 — новорожденные; 2—3 мес жизни; 3—6 мес; 4 — 1 год; 5—3 года;
 6 — 5-6 лет; 7 - 9-10 лет; 8 — 12-14 лет; 9 — 18-20 лет

прообраз колонки, которая у новорожденных бедна межклеточными связями.

1-й год жизни характеризуется увеличением размеров нервных клеток, дифференциацией звездчатых вставочных нейронов, увеличением дендритных и аксонных разветвлений. Выделяется ансамбль нейронов как структурная единица, окруженная тонкими сосудистыми разветвлениями.

К 3 годам ансамблевая организация усложняется развитием гнездных группировок, включающих разные типы нейронов.

В 5—6 лет наряду с продолжающейся дифференциацией и специализацией нервных клеток нарастают объем горизонтально расположенных волокон и плотность капиллярных сетей, окружающих ансамбль. Это способствует дальнейшему развитию межнейрональной интеграции в определенных областях коры.

К 9—10 годам усложняется структура отростков интернейронов и пирамид, увеличивается разнообразие ансамблей, формируются широкие горизонтальные группировки, включающие и объединяющие вертикальные колонки.

В 12—14 лет в нейронных ансамблях четко выражены разнообразные специализированные формы пирамидных нейронов, вы-

сокого уровня дифференцировки достигают интернейроны; в ансамблях всех областей коры, включая ассоциативные корковые зоны, за счет разветвлений отростков удельный объем волокон становится значительно больше удельного объема клеточных элементов.

К 18 годам ансамблевая организация коры по своим характеристикам достигает уровня взрослого человека.

Закономерности созревания структур мозга в онтогенезе. Основная закономерность в характере созревания мозга как многоуровневой иерархически организованной системы проявляется в том, что эволюционно более древние структуры созревают раньше. Это прослеживается в ходе созревания структур мозга по вертикали: от спинного мозга и стволовых образований головного мозга, обеспечивающих жизненно важные функции, к коре больших полушарий. По горизонтали развитие идет от проекционных отделов, включающихся в обеспечение элементарных контактов с внешним миром уже с момента рождения, к ассоциативным, ответственным за сложные формы психической деятельности.

Для развития каждого последующего уровня необходимо полноценное созревание предыдущего. Так, для созревания проекционной коры необходимо формирование структур, через которые поступает сенсорно-специфическая информация. Для развития в онтогенезе ассоциативных корковых зон необходимо формирование и функционирование первичных проекционных отделов коры. Так, нарушение в раннем возрасте проекционных корковых зон приводит к недоразвитию областей более высокого уровня (вторичные проекционные и ассоциативные отделы). Этот принцип развития структур мозга в онтогенезе Л.С.Выготский обозначил как направление «снизу вверх».

Следует подчеркнуть, что позже созревающие структуры не просто надстраиваются над уже существующими, а влияют на их дальнейшее развитие. Так, при исследовании активности отдельных нейронов было показано, что только после созревания проекционной корковой зоны нейроны релейного ядра таламуса приобретают специализированную реакцию зрелого типа в ответ на афферентный стимул.

Сформированная многоуровневая организация мозга носит иерархический характер. Ведущую роль в осуществлении целостной интегративной функции мозга приобретают высшие отделы коры больших полушарий, управляющие подчиненными им структурами более низкого уровня. Такой принцип иерархической организации структур зрелого мозга Л.С.Выготский обозначил как направление «сверху вниз».

Длительный и гетерохронный характер созревания структур мозга определяет специфику функционирования мозга в различных возрастных периодах.

Методики изучения функциональной организации мозга

Одним из первых методов оценки функциональной роли разных структур мозга явился *метод повреждения или удаления участков мозга* с помощью хирургических, химических и температурных воздействий. Другой рано возникший метод — это *метод прямой электрической стимуляции*, который применялся как в экспериментах на животных, так и во время нейрохирургических операций, когда находящийся в сознании больной мог оценить свои ощущения при раздражении различных точек коры и подкорковых структур. Например, при раздражении проекционной зрительной коры больной как бы видел цветовые пятна, вспышки пламени; стимуляция вторичных зрительных полей вызывала сложные зрительные образы, раздражение определенных подкорковых ядер — звуковые и зрительные галлюцинации. С помощью электрической стимуляции во время операции была уточнена локализация речевых зон, физиологические основы речи, памяти и эмоций.

Электроэнцефалография. В настоящее время наиболее распространенным и адекватным для изучения функциональной организации мозга является метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) — суммарной биоэлектрической активности, отводимой с поверхности головы. Многоканальная запись ЭЭГ в различных отведениях позволяет одновременно регистрировать электрическую активность функционально различных областей коры (рис. 51).

В ЭЭГ выделяются следующие типы ритмических колебаний: дельта-ритм 0,5—3 Гц; тета-ритм 4—7 Гц; альфа-ритм 8—13 Гц, основной ритм ЭЭГ, преимущественно выраженный в каудальных отделах коры (затылочной и теменных); бета-ритм 15—30 Гц; гамма-колебания > 30—60 Гц.

Эти ритмы различаются не только по своим частотным, но и функциональным характеристикам. Их амплитуда, топография, соотношение являются важным диагностическим признаком и критерием функциональной активности различных областей коры при реализации психической деятельности. Подробно этот вопрос будет рассмотрен в соответствующих главах.

Анализ ЭЭГ осуществляется как визуально, так и с помощью ЭВМ. Визуальная оценка применяется в клинической практике. С целью унификации и объективизации диагностических оценок используется метод структурного анализа нативной ЭЭГ, основанный на выделении функционально сходных признаков и их объединении в блоки, отражающие характер активности структур мозга различных уровней (коры больших полушарий, диэнцефальных, лимбических, стволовых). В возрастной нейрофизиологии этот метод успешно используется для оценки степени структурно функциональной зрелости мозга.

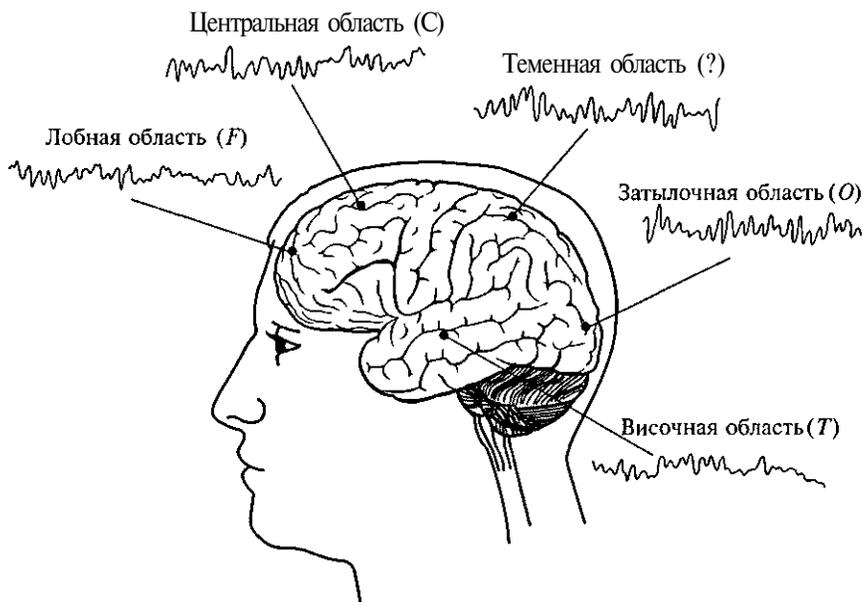


Рис. 51. Электрическая активность, зарегистрированная от различных областей коры мозга человека. В скобках указаны латинские обозначения областей коры

В настоящее время как в клинических, так и в исследовательских целях широко используются компьютерные методы анализа ЭЭГ, позволяющие оценить выраженность различных ритмов по их спектральной мощности и их статистическую взаимосвязь (корреляционный анализ и анализ функции когерентности ритмической активности). Оценка когерентности ритмической активности широко используется в исследовательских целях. Этот метод позволяет выявить степень сходства организации ритмов биоэлектрической активности в различных мозговых структурах. Сходство организации рассматривается как необходимая предпосылка взаимодействия и адекватный показатель функциональной организации структур мозга при осуществлении различных видов деятельности. Рост значений функции когерентности (КОГ) биопотенциалов в ряде областей коры отражает увеличение вероятности их функциональной интеграции.

Вызванные потенциалы. Другой тип суммарной электрической активности — вызванные потенциалы (ВП). Они возникают в ответ на внешние воздействия и отражают изменения функциональной активности областей коры, осуществляющих прием и обработку поступающей информации. ВП представляет собой последовательность разных по полярности — позитивных и нега-

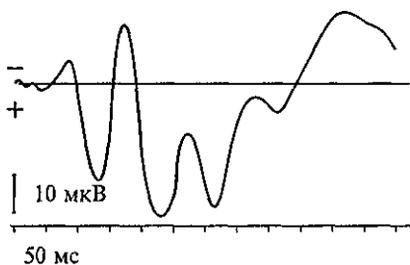


Рис. 52. Зрительный вызванный потенциал. Начало ответа совпадает с моментом предъявления светового стимула

тивных — компонентов, возникающих после предъявления стимула (рис. 52). Количественными характеристиками ВГТ являются латентный период (время от начала воздействия стимула до достижения максимального значения компонента) и амплитуда компонента. Компоненты ВП приня-

то обозначать латинскими буквами по полярности: N - негативные, P - позитивные, - и цифровыми индексами — по величине латентности в мил-

лисекундах. Например, положительный компонент с латентным периодом 300 мс после предъявления стимула обозначается как P_{300} . Метод регистрации ВГТ широко используется при анализе процесса восприятия. В экспериментальных моделях на животных при одновременной регистрации ВП и активности отдельных нейронов была показана связь основного комплекса ВП с возбуждательными и тормозными процессами, протекающими на разных уровнях коры больших полушарий. Было обнаружено, что начальные компоненты ВП — это так называемые экзогенные компоненты, связанные с активностью пирамидных клеток, которые воспринимают сенсорную информацию. Возникновение других, более поздних, фаз ответа обусловлено обработкой информации, осуществляемой нейронными аппаратами коры при участии не только сенсорного афферентного потока, но и импульсации, поступающей из других отделов мозга, в частности из ассоциативных и неспецифических ядер таламуса, и по внутрикорковым связям из других корковых зон.

Эти нейрофизиологические исследования положили начало широкому использованию ВП человека для анализа процесса восприятия.

У человека ВП имеет относительно небольшую амплитуду по сравнению с амплитудой фоновой ЭЭГ, и его изучение стало возможно только при использовании компьютерной техники для выделения сигнала из шума и последующего усреднения реакций, возникающих в ответ на ряд однотипных стимулов. ВП, регистрируемые при предъявлении сложных сенсорных сигналов и решении определенных когнитивных задач, получили название связанных с событиями потенциалов (ССП).

При изучении SSP наряду с анализом параметров, используемых при анализе ВП, — латентного периода и амплитуды компонентов — используются и другие специальные методы обработ-

ки, позволяющие в сложной конструкции ВП выделить компоненты, связанные с определенными когнитивными операциями: метод главных компонент и метод разностных кривых.

Метод главных компонент основан на использовании факторного анализа, позволяющего выделить факторы, наиболее тесно связанные с определенными операциями и приходящиеся на временной интервал, соответствующий тому или иному компоненту ССП. Это позволяет вычленить функциональную роль данного компонента в анализируемом процессе. С той же целью используется метод разностных кривых. Он заключается в следующем: сначала регистрируют фоновую кривую ССП при нейтральной стимуляции, а затем — кривую ССП при предъявлении конкретных задач. Потом с помощью компьютера эти две кривые сравнивают, и по преимущественной выраженности определенных компонентов делается заключение об их связи с выполняемой задачей.

Топографическое картирование. Многоканальная регистрация ЭЭГ дает возможность представить полученные в результате компьютерной обработки ЭЭГ данные в удобном для восприятия виде — как карты одномоментного пространственного распределения по коре мощности разных ритмов ЭЭГ и амплитуд компонентов ВП или других характеристик. Последовательность таких карт дает представление о динамике процессов. На топографических картах мозга цветом и его интенсивностью кодируются различные параметры ЭЭГ. Такая визуализация позволяет охарактеризовать функциональную организацию мозга при разных состояниях и видах деятельности.

Компьютерная томография основана на использовании вычислительной техники и новейших технических методов, позволяющих получить множество объемных изображений одной и той же структуры мозга.

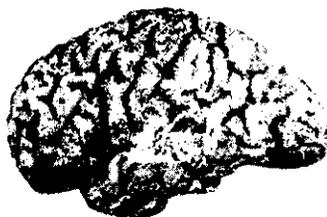
Из методов компьютерной томографии наиболее часто используется метод позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Этот метод позволяет охарактеризовать активность различных структур мозга на основе изменения метаболических процессов. При обменных процессах в нервных клетках используются определенные химические элементы, которые можно пометить радиоизотопами. Усиление активности сопровождается усилением обменных процессов, и в областях повышенной активности образуется скопление изотопов, по которым и судят об участии тех или иных структур в психических процессах (рис. 53).

Другим широко используемым методом является ядерно-магнитно-резонансная томография. Метод основан на получении изображения, отражающего распределение плотности ядер водорода (протонов), при помощи электромагнитов, расположенных вокруг тела человека. Водород является одним из химических элемен-

Зрительное восприятие слов



Прослушивание слов



Произнесение слов



Словесное мышление

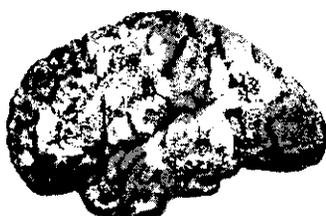


Рис. 53. Компьютерная томограмма мозга при решении различных вербальных задач

тов, участвующих в метаболических процессах, и потому его распределение в структурах мозга — надежный показатель их активности. Преимущество ядерно-магнитно-резонансного метода состоит в том, что его использование не требует введения в организм радиоизотопов, и вместе с тем этот метод позволяет получить четкие изображения «срезов» мозга в различных плоскостях, так же как и метод ПЭТ.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте структуру и функциональную роль спинного мозга.
2. Назовите основные функции продолговатого, среднего и промежуточного мозга. Какова роль гипоталамуса в регуляции функций организма?
3. Охарактеризуйте состав и функции лимбической системы.
4. Какие функционально различные области коры вы знаете?
5. Как меняется соотношение проекционных и ассоциативных областей коры в процессе эволюции?
6. Назовите основные этапы и закономерности развития коры больших полушарий.
7. Какие методы используются для оценки функциональной организации мозга?

Глава 13. РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЗГА

Определение функционального состояния. Функциональное состояние — это тот фон, на котором осуществляется деятельность целостного организма, его отдельных систем и органов. Само слово «состояние» отражает относительную длительность (протяженность) протекающих процессов — это тоническая составляющая активности. Функциональное состояние целостного организма зависит прежде всего от функционального состояния мозга, обеспечивающего адекватность реагирования организма на факторы внешней и внутренней среды.

Оценка функционального состояния. В зависимости от функционального состояния деятельности индивида может быть эффективной и неэффективной. Показатели результативности деятельности рассматриваются как важный интегративный показатель функционального состояния. При такой оценке выделяют два класса функциональных состояний: 1) оптимальная мобилизация физиологических систем, обеспечивающих адекватность деятельности при минимальных энергозатратах; 2) состояние динамического рассогласования, когда деятельность либо неэффективна, либо успешность достигается чрезмерными энергозатратами. Другие два подхода к оценке функционального состояния базируются на конкретных физиологических показателях. Один из них основан на изучении комплекса показателей, отражающих центральную регуляцию вегетативных функций. Наиболее часто используются показатели гемодинамики: сердечный ритм, артериальное давление, ударный и минутный объемы крови. Регуляция гемодинамики осуществляется посредством разнонаправленных (симпатических и парасимпатических) воздействий вегетативной нервной системы. Изменение активности центральной нервной системы в сторону ее напряжения вызывает увеличение показателей гемодинамики; снижение уровня активности мозга приводит к их уменьшению. Этот подход широко используется в медицинской практике, он лег в основу разработки и так называемого «детектора лжи», принцип функционирования которого — полиграфическая регистрация вегетативных показателей, позволяющая выявить скрытое напряжение состояния индивида. Принципиально иной подход основан на непосредственной регистрации ЭЭГ. Он позволяет оценить не только общий эффект функционального состояния, но и выявить механизмы, лежащие в его основе. Выраженность разных ритмов ЭЭГ и их соотношение отражают активность коры больших полушарий, подкорковых структур мозга и характер их взаимодействия при разных функциональных состояниях.

Шкала функциональных состояний

По уровню активации мозга в шкале функциональных состояний выделяют определенные периоды, характеризующиеся разным уровнем активности, — от глубокого сна до напряженного активного состояния. Картина функционального состояния мозга в континууме сонно-бодрственного цикла детально изучена с использованием метода ЭЭГ (рис. 54). Выделены 5 стадий сна и 2 уровня бодрствования, которые характеризуются доминированием разных ритмических компонентов ЭЭГ и отражают активность отдельных мозговых систем, что позволяет понять их физиологическую сущность.

Стадии сна. По картине ЭЭГ выделяются следующие стадии сна: 1-я — короткая (10—15 мин) стадия дремоты характеризуется уменьшением альфа-активности и появлением низкоамплитудных тета- и дельта-волн. 2-я стадия занимает почти половину времени сна. На этой стадии регистрируются вспышки веретенообразных колебаний разной частоты. На 3-й стадии к ним добавляются высокоамплитудные дельта-волны, которые становятся доминирующей формой активности на 4-й стадии. 3-я и 4-я стадии объединяются общим названием дельта-сон и представляют собой наиболее глубокие стадии сна. 5-я стадия сна (парадоксальный сон) характеризуется ЭЭГ, близкой к ЭЭГ-картине бодрствования. Парадоксальный сон занимает примерно 23 % всей продолжительности сна.

Все пять стадий сна неоднократно повторяются в течение ночи, причем в одной и той же последовательности.

Все фазы сна, за исключением парадоксального, сопровождаются снижением метаболизма, общим расслаблением, что указы-

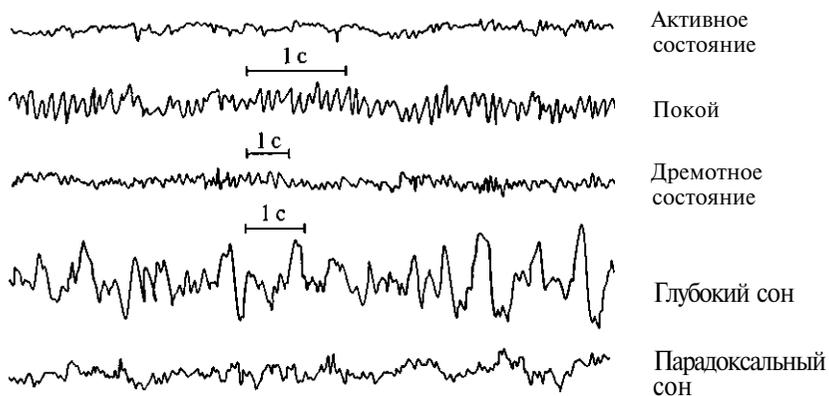


Рис. 54. Электроэнцефалограмма в континууме функциональных состояний организма — при переходе от активного бодрствования к покою и сну. Отведение от затылочной области коры

вают на осуществление восстановительных процессов. Долгое время сну приписывалась только эта функция. Между тем специальные исследования показали, что даже для глубокого сна характерны сновидения, которые напоминают мысли и рассуждения, что отражает наличие определенной деятельности мозга. Существует точка зрения об особой функциональной активности мозга во время глубокого сна, характеризующейся переходом следов кратковременной памяти в долговременную.

Парадоксальный сон, в отличие от медленно-волнового, характеризуется резким усилением вегетативных реакций (вегетативные бури), наличием быстрых движений глаз и ярких эмоционально окрашенных сновидений. Физиологическая значимость парадоксального сна состоит в том, что происходит своеобразная «разрядка», освобождение коры больших полушарий от информационной нагрузки, эмоционального напряжения и создаются оптимальные условия для предстоящей деятельности. Регистрирующийся на этой стадии альфа-ритм с его сканирующей функцией рассматривается как нейрофизиологический механизм, обеспечивающий эти процессы.

Таким образом, сон — неоднородный и полифункциональный процесс высокой функциональной значимости. От его продолжительности, выраженности и соотношения двух основных видов — медленного и парадоксального сна — существенно зависит также и функциональное состояние человека, его работоспособность, умственная деятельность и эмоциональный фон. При нарушениях сна или его длительном отсутствии снижается скорость реакций, нарушается внимание, наступает быстрая утомляемость при умственной работе, нарастает раздражительность. Все стадии сна, включая парадоксальный, наблюдаются уже с момента рождения ребенка. Вместе с тем продолжительность сна и потребность в нем с возрастом значительно изменяются. У новорожденного она составляет 21—23 ч, к концу первого года примерно 14 ч, в 4 года — 12 ч, в 8—10 лет — 10 ч, в 15—16 лет — 9 ч. Для оптимальной деятельности взрослого человека необходимо 7—8 ч сна.

Состояние бодрствования. Бодрствование является тем функциональным состоянием, на фоне которого разворачивается любая деятельность. Значимость этого состояния для обеспечения эффективности деятельности при ее оптимальной физиологической стоимости чрезвычайно велика. Состояние бодрствования не является однородным. В нем выделяются разные по ЭЭГ-картине и соответственно по своей функциональной организации состояния: спокойное бодрствование и активное бодрствование.

Спокойное бодрствование. Это функциональное состояние наблюдается при отсутствии какой-либо конкретной деятельности и отражает определенный уровень организации нервных сетей, связывающих различные структуры мозга. У взрослого человека

спокойное бодрствование характеризуется наличием синхронизированного альфа-ритма частотой 8–13 Гц (среднее значение 10 Гц). Он максимально выражен при полном покое и закрытых глазах. Степень выраженности альфа-ритма различается у разных людей. По выраженности альфа-ритма выделяют несколько типов ЭЭГ, отражающих индивидуальную организацию нервных процессов, большую или меньшую активированность коры больших полушарий и особенности ее взаимодействия с подкорковыми структурами.

Строгая ритмичность, стабильность доминирующей частоты в состоянии относительного покоя создают оптимальный фон для приема и обработки информации.

Функциональная роль альфа-ритма обеспечивается не только четкой ритмичностью, но и его пространственно-временной организацией в коре больших полушарий. Одним из показателей такой организации является наличие устойчивых фазовых сдвигов альфа-волн, наиболее значительных для удаленных отделов коры (например, так называемый лобно-затылочный градиент). Фазовый сдвиг создает условия оптимальной и дискретной обработки информации в пределах каждого альфа-цикла, осуществляемой в разных отделах коры больших полушарий. В специальных исследованиях показано, что на восходящей фазе альфа-волны облегчается прием афферентной импульсации, а на нисходящей — затрудняется.

Значение пространственной организации альфа-ритма для обеспечения межцентрального взаимодействия корковых структур выявляется при анализе функции когерентности (математическая функция, отражающая степень согласованности электрической активности отдельных зон мозга; чем выше функция когерентности, тем согласованнее работают исследуемые участки головного мозга). Установлено, что в состоянии спокойного бодрствования функция когерентности основного среднечастотного ритма альфа (10 Гц) имеет высокие значения практически для всех пар отведений как внутри полушарий, так и между симметричными отделами полушарий, что свидетельствует о высоком уровне межцентральной интеграции в этом функциональном состоянии.

ЭЭГ-картина спокойного бодрствования, в отличие от таковой сна, существенно меняется с возрастом, отражая постепенность созревания нейронного аппарата коры больших полушарий. В период новорожденности отсутствует свойственное более старшему возрасту состояние относительного покоя как оптимального фона для восприятия информации. Кратковременно присутствуют чередующиеся с состоянием сна периоды активного бодрствования, связанные с принятием пищи, манипуляциями взрослого (туалет, переодевание) или дискомфортом. В ЭЭГ соответственно отсутствует характерная для состояния покоя ритмическая синхро-

низированная активность. Достаточно продолжительная ритмическая синхронизированная активность частотой 4—6 Гц, преимущественно выраженная в затылочных областях, обнаруживается с 3—4-месячного возраста, когда у ребенка уже наблюдаются периоды спокойного бодрствования. Хотя частота этого ритма значительно ниже таковой у взрослого, его локализация, реактивность на внешние воздействия позволила расценивать его как аналог альфа-ритма, низкая частота которого связана с незрелостью нервного аппарата коры больших полушарий. По мере созревания коры больших полушарий частота альфа-ритма возрастает, приближаясь к частоте этого ритма у взрослого. Увеличивается и его представленность в ЭЭГ покоя. С 6—7 лет он становится доминирующей формой активности. Этот возраст можно рассматривать как важный этап в организации ЭЭГ покоя, отражающий функциональную организацию коры больших полушарий. Одновременно возрастает значение функции когерентности по альфа-ритму, отражающей синхронность этих колебаний, что рассматривается как важнейший фактор внутрикорового взаимодействия. К 9—10 годам параметры альфа-ритма достигают дефинитивного уровня. Его представленность претерпевает определенные изменения в подростковом возрасте, что связано с периодом полового созревания.

Активное бодрствование. При подготовке к деятельности или ее осуществлению в условиях мобилизации происходят существенные перестройки в организме, и прежде всего — переход реагирующей системы на более высокий уровень активированности. При этом основной ритм распадается (так называемая реакция десинхронизации или блокады альфа-ритма), и в ЭЭГ регистрируются колебания более высокой частоты, включающие высокочастотный компонент альфа-диапазона (11 — 13 Гц), бета- и гамма-активность. Состояние мобилизационной готовности требует соответствующего метаболического и прежде всего кислородного обеспечения. Соответственно отмечается рост показателей гемодинамики. Изменения, наблюдаемые в состоянии активного бодрствования, обеспечивают эффективность реализации деятельности при подготовке к определенному ее виду. Наряду с генерализованной активацией наблюдаются локальные повышения активированности отдельных нервных центров, тех, которые будут вовлечены в ее реализацию, — локальная активация.

Механизмы регуляции функционального состояния

В изменении функционального состояния мозга важнейшая роль принадлежит модулирующей системе, регулирующей активационные процессы в цикле бодрствование — сон и на разных уровнях бодрствования.

Модулирующая система включает в себя структуры разного уровня: ретикулярную формацию ствола и таламуса, неспецифические таламические ядра, лимбическую систему.

Ретикулярная (сетчатая) формация представляет собой сеть нейронов, воспринимающих всю афферентную импульсацию. На уровне сетчатой формации импульсные потоки, теряя свою специфичность, по широкой системе восходящих связей, минуя специфические переключательные ядра таламуса, направляются в кору больших полушарий, вызывая генерализованное и тоническое повышение уровня ее активации (рис. 55). Одновременно нисходящие влияния ретикулярной системы вызывают изменения метаболического обеспечения, приводя его в соответствие с изменившимся функциональным состоянием.

Таламус играет более сложную роль в модуляции функционального состояния коры больших полушарий, оказывая как активирующие, так и тормозные воздействия на различные нервные центры, обеспечивая этим возможность локальной активации, играющей важнейшую роль в системной организации интегративной деятельности мозга.

В механизмах регуляции функционального состояния коры и обеспечения локальной активации существенная роль принадлежит также структурам лимбической системы — гипоталамусу и гиппокампу. Их двухсторонние связи с таламусом и высшими отделами коры больших полушарий (рис. 56) создают возможность регуляции активирующих воздействий в соответствии с состоянием потребностно-эмоциональной сферы, с одной стороны, анализом и оценкой всей ситуации с учетом внешних и внутренних факто-

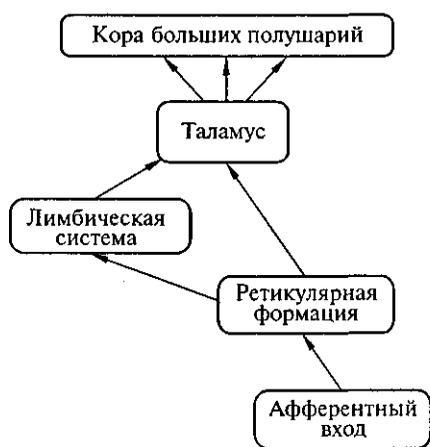


Рис. 55. Неспецифическая активирующая система



Рис. 56. Система регулируемой активации

ров, осуществляемых в коре больших полушарий, — с другой. Таким образом, создается замкнутый контур регуляции функционального состояния мозга, играющий важнейшую роль в обеспечении целостной интегративной деятельности мозга, ее организации в соответствии с конкретными условиями и задачами.

Возрастная динамика регуляции функционального состояния определяется постепенным и гетерохронным развитием различных звеньев регуляторной системы в онтогенезе ребенка. С ее созреванием связана специфика функциональной организации мозга как в покое, так и при осуществлении различных видов деятельности, в особенности произвольных, требующих вовлечения наиболее поздно созревающих в процессе развития лобных отделов коры.

Вопросы и задания

1. Что такое функциональное состояние?
2. Охарактеризуйте способы оценки функционального состояния.
3. Что такое континуум функциональных состояний?
4. Опишите основные стадии сна; каковы их ЭЭГ-характеристика и функциональное значение.
5. Охарактеризуйте ЭЭГ-картину спокойного бодрствования. В чем состоит функциональная значимость альфа-ритма?
6. Опишите ЭЭГ-характеристики активного бодрствования.
7. Охарактеризуйте систему регуляции функционального состояния. В чем различие механизмов генерализованной и локальной активации?

Глава 14. ИНТЕГРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОЗГА

Принцип системной организации интегративной деятельности мозга

Представление о функции мозга как о результате динамической интеграции различных структур, выполняющих определенную, специфическую роль в формировании целостной деятельности мозга, впервые было сформулировано И. М. Сеченовым в 1863 г. Это представление, получившее дальнейшее развитие в трудах выдающихся физиологов И.П.Павлова, А.А.Ухтомского, Н.А.Бернштейна, П. К.Анохина, стало приоритетным в отечественной физиологии, послужив основой для объяснения механизмов целенаправленного поведения и мозговой организации психических процессов.

Высшая нервная деятельность. В учении о высшей нервной деятельности, созданном И.П. Павловым, огромное внимание уде-

ляется нейрофизиологическим процессам, обеспечивающим приспособительные реакции организма на воздействия внешнего мира. Высшая нервная деятельность, согласно учению И.П.Павлова, — это совокупность сложных форм деятельности коры больших полушарий и ближайших к ним подкорковых структур, обеспечивающих взаимодействие целостного организма с внешней средой. В качестве нервного механизма, обеспечивающего реагирование на внешние воздействия, рассматривался *условный рефлекс*. В отличие от безусловных рефлексов, являющихся врожденными, сформировавшимися в ходе эволюции и передающимися по наследству, условные рефлексы возникают, закрепляются и угасают (если утрачивают свое значение) в течение жизни. Условные рефлексы могут образовываться на любые сигналы, реализуясь при участии высших отделов нервной системы. От стабильных безусловных условные рефлексы отличаются изменчивостью. В течение жизни индивидуума иные из них, утрачивая свое значение, угасают, другие вырабатываются. Образование условного рефлекса связано с установлением временной связи между двумя группами клеток коры: между воспринимающими условное и воспринимающими безусловное раздражение. Эта связь становится тем прочнее, чем чаще одновременно возбуждаются оба участка коры. После нескольких таких сочетаний связь оказывается настолько прочной, что потом при воздействии одного лишь условного раздражителя возбуждение возникает и во втором очаге.

В настоящее время образование временной связи между двумя корковыми центрами при выработке условного рефлекса рассматривается как один из механизмов внутрицентрального взаимодействия, обеспечивающего формирование навыка и поведение индивида. В условиях реального существования организма условный рефлекс является элементом, включенным в сложную целостную деятельность мозга — интегративную деятельность. Наличие сложной системы внутрикорковых и корково-подкорковых связей создает основу для более сложного взаимодействия нервных центров. Интегративная деятельность мозга в каждый момент времени осуществляется структурами мозга, объединенными в динамические системы, обеспечивающие приспособительный характер поведенческих реакций.

Принцип доминанты А.А. Ухтомского. А.А.Ухтомский, анализируя мозговые механизмы поведения сформулировал принцип доминанты. Согласно представлению А.А.Ухтомского, при осуществлении действия, обусловленного актуальными для данного момента сигналами или внутренними потребностями, возникает доминантный очаг возбуждения, создающий в мозгу динамическую констелляцию (объединение) нервных центров — функциональный рабочий орган. Констелляция нервных центров состоит из обширного числа пространственно разнесенных нервных эле-

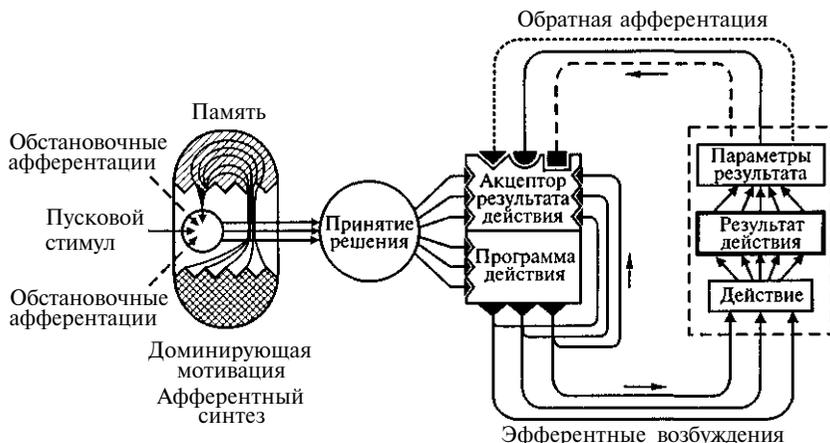


Рис. 57. Блок-схема функциональной системы П.К.Анохина

ментов разных отделов ЦНС, временно объединенных для осуществления конкретной деятельности. Отдельные ее компоненты в разные моменты могут образовывать разные динамические конstellляции, обеспечивающие выполнение определенных стоящих перед организмом целей и задач. А.А.Ухтомский обращал внимание на тот факт, что «нормальная деятельность мозга опирается не на раз и навсегда определенную статику различных фокусов как носителей отдельных функций, а на непрестанную межцентральную динамику нервных процессов на разных уровнях ЦНС». Тем самым подчеркивался не жесткий, а пластичный характер функциональных объединений, лежащих в основе интегративной деятельности мозга. Это определило понимание интегративной деятельности как результата системного динамического взаимодействия мозговых структур, обеспечивающего адаптивное реагирование и поведение индивида.

Концепция функциональной системы П. К. Анохина. Положения о системной организации деятельности мозга получили дальнейшее развитие в теории функциональных систем П. К.Анохина (рис. 57). Функциональная система представляет собой объединение элементов организма (рецепторов, нервных элементов различных структур мозга и исполнительных органов), упорядоченное взаимодействие которых направлено на достижение полезного результата, рассматриваемого как системообразующий фактор. Функциональная система формируется на основании целого ряда операций.

1. Афферентный синтез всей имеющейся информации, которая включает наличную афферентацию, следы прошлого опыта, мотивационный компонент. На основе синтеза всей этой информации обоснованно принимается решение и формируется программа действий.

2. Принятие решения с одновременным формированием программы действий и акцептора результатов действий — модели ожидаемого результата. Это означает, что до осуществления любого поведенческого акта в мозге уже имеется представление о нем; сходное представление об организации деятельности мозга было высказано Н.А. Бернштейном, считавшим, что всякому действию должно предшествовать создание «модели потребного будущего», т.е. того результата, на достижение которого направлена функциональная система.

3. Собственно действие, которое организуется за счет эфферентных сигналов из центральных структур к исполнительным органам, обеспечивающим достижение необходимой цели.

4. Сличение на основе обратной связи параметров совершенного действия с моделью — акцептором его результатов; обратная афферентация является необходимым фактором успешности каждого поведенческого акта и основой саморегуляции функциональной системы.

В состав функциональной системы включены элементы, принадлежащие как одной физиологической системе или органу, так и разным (пространственная разнесенность компонентов). Одни и те же элементы могут входить в состав разных функциональных систем. Стабильность состава компонентов функциональной системы и характер их взаимосвязи определяются видом реализуемой деятельности. Функциональные системы, обеспечивающие жизненно важные функции (дыхание, сосание), состоят из стабильных, жестко связанных компонентов. Системы, которые обеспечивают осуществление сложных поведенческих реакций и психических функций, включают в себя как жесткие, так и в значительно большей степени гибкие, пластичные связи, что создает высокую динамичность и вариативность их организации в зависимости от конкретных условий и задач.

Интегративные процессы и обработка информации в сенсорных системах

Сенсорные системы, или анализаторы. В обеспечении контактов организма с окружающим миром ведущая роль принадлежит сенсорным системам, осуществляющим прием и обработку внешних сигналов. На основе информационных процессов создается образ мира, складывается индивидуальный опыт, формируется познавательная деятельность. Представление о единой многоуровневой системе приема и анализа внешних сигналов впервые было сформулировано И. П. Павловым, создавшим учение об анализаторах. По И.П.Павлову, первичный анализ информации осуществляется тремя взаимосвязанными отделами: периферическим (рецеп-

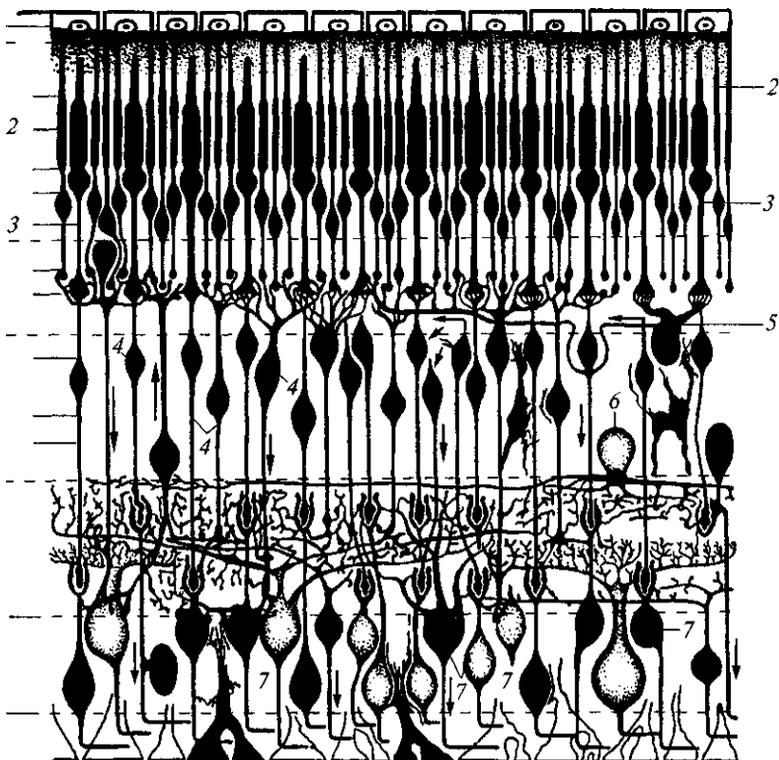


Рис. 58. Схема строения сетчатки

1 — пигментный слой; 2 — палочки; 3 — колбочки; 4 — биполярные нейроны; 5 — горизонтальные клетки; 6 — амакриновая клетка; 7 — ганглиозные клетки.
Пунктиром обозначено разделение сетчатки на слои

торный аппарат), проводниковым (проводящие пути от рецепторов и переключательные ядра таламуса) и центральным (проекционные области коры больших полушарий).

Рецепторы — специализированные образования, реагирующие на качественно различные виды (модальность) внешних сигналов: зрительный, слуховой, обонятельный, тактильный. Воспринимаемая рецепторами специфическая энергия (световые, звуковые волны) преобразуется в последовательность нервных импульсов, передающихся по специфической афферентной системе. Рецепторы различаются по строению, одни из них представлены сравнительно простыми клетками или нервными окончаниями, другие, например сетчатка глаза или кортиева орган уха, являются элементами сложноустроенных органов чувств.

Учитывая особую роль зрительной и слуховой сенсорных систем для человека и сложность их рецепторных структур, рассмот-

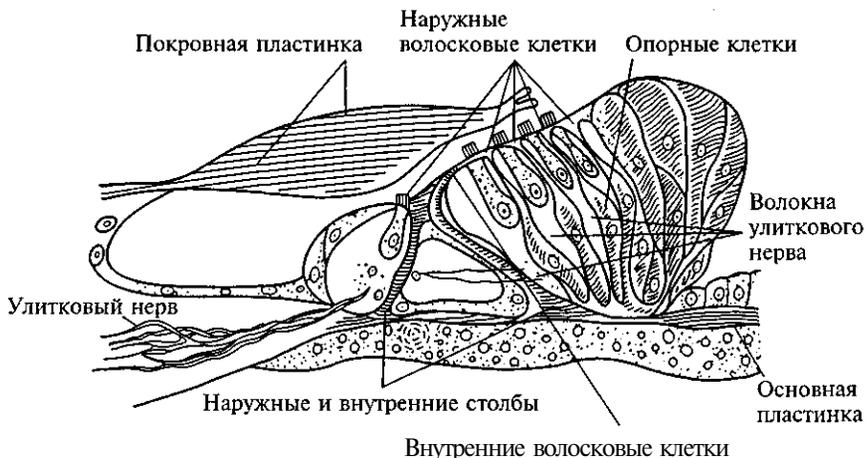


Рис. 59. Звуковоспринимающий аппарат (кортиеv орган)

рим их строение, обеспечивающее восприятие сигналов соответствующей модальности.

Сетчатка (см. рис. 58) — многослойное образование. Она состоит из пигментного слоя, фоторецепторов и нескольких слоев нервных клеток. Фоторецепторы, воспринимающие световые волны, представлены двумя видами клеток: колбочками и палочками. Палочки обладают большей чувствительностью. Этот аппарат сумеречного зрения располагается на периферии сетчатки. В центре расположены колбочки, воспринимающие различные цвета, их чувствительность меньше и они функционируют только при ярком освещении. Нервные клетки осуществляют первичную обработку информации в сетчатке. Их аксоны образуют зрительный нерв, по которому информация передается в головной мозг. К моменту рождения сетчатка практически сформирована, колбочковый аппарат окончательно созревает в раннем постнатальном периоде, что касается зрительного нерва, то его миелинизация происходит в течение первых 3 мес, и это определяет значительное увеличение скорости передачи информации в мозг.

Звуковоспринимающий аппарат — *кортиеv орган* расположен в улитке внутреннего уха (рис. 59). Его основная часть — покровная пластинка — состоит примерно из 24 тыс. тонких и упругих фиброзных волокон. Вдоль основной пластинки в 5 рядов расположены опорные и волосковые клетки, воспринимающие звуковые волны. При распространении звуковых волн разные волосковые клетки реагируют на звуки разной высоты и интенсивности. Возникающие в этих клетках импульсы по слуховому нерву передаются в центральную нервную систему. Слуховая сенсорная система формируется очень рано и периферийный аппарат функционирует уже в пренатальном периоде.

Сенсорная информация из зрительного и слухового рецепторных аппаратов через релейные ядра таламуса поступает в проекционные отделы коры больших полушарий. Модально специфическая информация топически организована: от определенных участков рецепторного аппарата она поступает к определенным нейронам коры больших полушарий. Это так называемые рецептивные поля нейронов, способствующие пространственной организации сенсорных процессов.

Кодирование сенсорной информации. Информация о разных характеристиках стимула передается определенной последовательностью нервных импульсов — нервным кодом. Кодирование осуществляется числом и частотой импульсов в разряде, интервалами между разрядами, общей конфигурацией разряда. Как на основе нервного кода распознаются отдельные признаки, а затем складывается целостный образ? Наиболее убедительный ответ на вопрос о кодировании признаков дает точка зрения о наличии на разных уровнях сенсорной системы высокоспециализированных нервных клеток, избирательно реагирующих на определенный признак стимула — ориентацию, направление движения, интенсивность. Они получили название детекторов. *Нейроны-детекторы*, выделяющие из стимулов разные признаки (цвет, движение, ориентацию), расположены на разных уровнях ЦНС и в разных слоях коры. Нейроны, выделяющие сложные признаки, локализованы в верхних слоях коры и образуют объединения (нейронные ансамбли).

Для проекционных корковых зон наиболее характерны вертикально ориентированные нейронные ансамбли — колонки, впервые обнаруженные Маунткаслом в соматосенсорной коре. Одни колонки реагировали на прикосновение к поверхности тела, другие — на давление. Часть колонок реагировала на стимуляцию только одной половины тела. Колонки обнаруживаются и в других областях коры. По сложности обрабатываемой информации выделяют три типа колонок: микроколонки, макроколонки и гиперколонки, или модули (рис. 60).

Микроколонки реагируют лишь на определенную градацию какого-либо признака, например вертикальную или горизонтальную ориентацию; макроколонки, объединяя микроколонки, выделяют общий признак ориентации, реагируя на разные ее значения. Модуль выполняет обработку самых разных характеристик стимула (интенсивность стимула, цвет, ориентация, движение).

Иерархически организованная система связей от микроколонок к модулям обеспечивает возможность осуществления в проекционной коре тонкого дифференцированного анализа признаков разной сложности внутри одной сенсорной модальности.

Дальнейшая обработка сенсорно специфической информации осуществляется с участием так называемых гностических нейро-

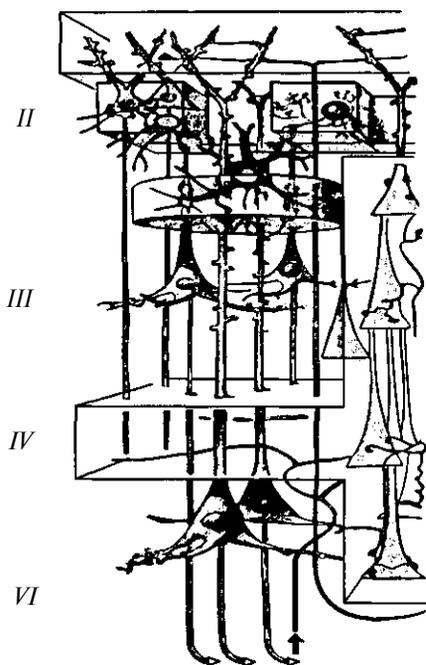


Рис. 60. Схема модульной организации нейронов в коре больших полушарий. Слева обозначены слои коры

здает возможность существенно иной качественной обработки информации. Представление о сетевом принципе организации нервной переработки информации было выдвинуто Д.Хеббом, рассматривающем в качестве элементарной интегративной единицы нейронные ансамбли, которые могут расцениваться как локальные нервные сети. Помимо таких локальных сетей существуют и более сложные нейронные сети, которые объединяют различные области коры и обладают выраженными пластичными свойствами. В информационных процессах эти сети объединяют в единую систему проекционные и ассоциативные области коры и являются основой организации целостного процесса восприятия.

Возрастная динамика сенсорных процессов определяется постепенным созреванием различных звеньев анализатора. Рецепторные аппараты созревают еще в пренатальном периоде и к моменту рождения являются наиболее зрелыми. Значительные изменения претерпевают проводящая система и воспринимающий аппарат проекционной зоны, что приводит к изменению параметров реакции на внешний стимул. Следствием усложнения ансамблевой

нов, получающих информацию об отдельных признаках от системы нейронов-детекторов. В гностических нейронах отдельные признаки интегрируются в целостный одномодальный (зрительный или слуховой) образ воспринимаемого объекта. Гностические нейроны, интегрирующие признаки одной сенсорной модальности, составляют 4–5 % нервных клеток в первичных проекционных зонах и широко представлены во вторичных полях.

Нейронные сети как структурно-функциональная основа перцепции. В настоящее время широкое признание получило представление о значении нейронных сетей в информационных процессах. Согласно сетевому принципу, формирование нейронных сетей обеспечивает не только анализ поступающих сигналов, но и со-

организации нейронов и совершенствования механизмов обработки информации, осуществляемой в проекционной корковой зоне, является усложнение возможностей анализа и обработки стимула, которое наблюдается уже в первые месяцы жизни ребенка. На этом же этапе развития происходит миелинизация афферентных путей. Это приводит к значительному сокращению времени поступления информации к корковым нейронам: латентный (скрытый) период реакции существенно сокращается. Дальнейшие изменения процесса переработки внешних сигналов связаны с формированием сложных нервных сетей, включающих различные корковые зоны и определяющих формирование процесса восприятия как психической функции.

Интегративные процессы в центральной нервной системе как основа психических функций

Системная организация процесса восприятия. Восприятие как психическая функция не ограничивается обработкой информации в сенсорно-специфическом анализаторе. Являясь активным процессом, восприятие включает ряд когнитивных операций — оценку стимула с точки зрения его значимости, опознание, классификацию и зависит от задачи, стоящей перед субъектом.

В системе восприятия особая роль принадлежит ассоциативным областям коры, которые осуществляют интеграцию признаков разной сенсорной модальности и на этой основе создают целостный образ внешнего мира. В рамках восприятия одной модальности они, благодаря связям с различными подкорковыми структурами и другими областями коры, участвуют в сличении наличной информации со следами в памяти, в оценке значимости в соответствии с ведущей потребностью, в опознании и классификации. Система двусторонних связей ассоциативных областей коры, в особенности лобных отделов, с лимбическими и ретикулярными регуляторными структурами определяет высокую пластичность процесса восприятия и его адекватность текущей ситуации.

Обработка информации в ассоциативных областях коры головного мозга. Нейронная организация ассоциативной коры характеризуется наличием сложных нейронных ансамблей и разветвленной системой межнейрональных связей.

В отличие от мономодальных нейронов проекционных корковых зон нейроны ассоциативных областей характеризуются полимодальными свойствами. На стимулы разных модальностей один и тот же нейрон реагирует определенным рисунком (паттерном) разряда, отражающим его специфические признаки. Показано, что эти нейроны получают сенсорно-специфическую информацию как из подкорковых отделов, так и из проекционных зон коры и име-

ют неспецифический вход от модулирующей системы мозга. Отличительной особенностью их реакций является их меньшая стабильность и однозначность по сравнению с ответами модальных нейронов проекционных зон. В ассоциативных областях выделяются нейроны с максимальной реакцией на первое воздействие стимула и нейроны с постепенным усилением ответа при повторном действии раздражителя.

В ассоциативной коре (нижневисочная зона) обнаружены также нейроны, избирательно реагирующие на сложные зрительные стимулы, становившиеся значимыми в процессе обучения. Обезьян обучали выбору стимула, идентичного эталону, из большого набора (97 стимулов). В ходе обучения при правильной реакции животного в ряде нейронов в ответ на появление значимого объекта возникали разряды определенной конфигурации, не регистрировавшиеся при предъявлении других стимулов. Таким образом, для нейронов ассоциативной коры характерны следующие особенности: 1) конвергенция стимулов, что необходимо для полного описания и опознания объекта; 2) высокая пластичность, обеспечивающая вовлечение их в реакции в зависимости от конкретных условий; 3) способность реагировать избирательно на сложные объекты, приобретающие определенную значимость.

Отражение системной организации процесса восприятия в структуре и топографии ВП (вызванный потенциал) и ССП (связанный с событиями потенциал). В развитии представлений о процессе восприятия как системе, в которой участвуют проекционные и ассоциативные области коры, большую роль сыграло изучение суммарных биоэлектрических реакций, возникающих в ответ на предъявление сенсорных стимулов, и при решении различных перцептивных задач — ВП и ССП. Вызванные ответы представляют собой последовательность позитивных и негативных колебаний, в которых различают начальные компоненты, непосредственно связанные с анализом и обработкой сенсорной информации (так называемые экзогенные компоненты) и более поздние колебания (эндогенные), отражающие процессы переработки информации разной степени сложности в зависимости от стоящих перед испытуемым задач. Наиболее сложную структуру имеют ССП.

Более стабильными по своим параметрам являются начальные компоненты; поздние в силу зависимости от многих факторов (внимания, значимости, наличия следовых процессов) отличаются значительной вариабельностью. При использовании метода главных компонент и разностных кривых было показано, что в одном и том же временном интервале могут возникать несколько компонентов, имеющих различное функциональное значение и топографию в коре головного мозга.

Вызванный потенциал, возникающий в интервале до 200 мс, преимущественно выражен в каудальных отделах коры и имеет

при осуществлении специфической зрительной функции наибольшую амплитуду в затылочной области.

При предъявлении сложных стимулов и оценке их значимости в составе ССП в интервале от 200 до 400 мс в различных корковых зонах в зависимости от характера стимула и условий его опознания (рис. 61) развиваются разные компоненты — негативная волна, больше выраженная в заднеассоциативных областях и отражающая анализ признаков стимула и его опознание, и позитивные компоненты, связанные с такими когнитивными операциями, как сличение со следом памяти, классификация стимула, принятие решения относительно предъявленной задачи.

Поздний позитивный комплекс преимущественно выражен в переднеассоциативных отделах коры. Показано, что в процессе классификации изображений по ведущему признаку поздний позитивный комплекс имеет максимальную амплитуду в левой лобной области, что указывает на ее специализированную роль в осуществлении этой операции.

Преимущественная выраженность определенных компонентов ССП в той или иной области коры отражает ее специализированное участие в отдельных операциях процесса восприятия. В то же время компоненты ССП с той или иной степенью выраженности могут быть одновременно зарегистрированы во всех корковых зонах. Этому соответствуют данные ПЭТ и ядерно-магнитно-резонансной томографии о широком вовлечении коры головного мозга в процесс восприятия.

Отдельные корковые зоны активно взаимодействуют друг с другом. В экспериментальных исследованиях выявлено взаимовлияние проекционных и ассоциативных отделов коры при осуществлении перцептивных операций.

Таким образом, современные данные подтверждают представление о восприятии как системном процессе, в котором специализированно участвуют и взаимодействуют различные области коры больших полушарий.

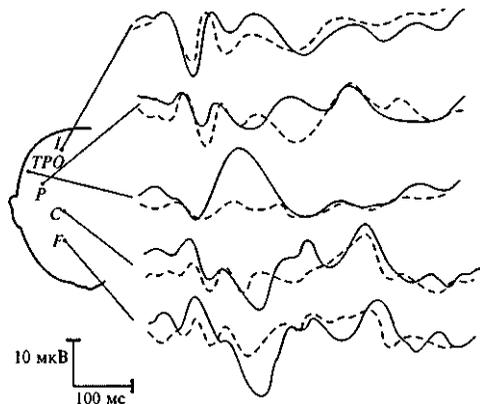


Рис. 61. ССП разных областей коры головного мозга при предъявлении предметных изображений. Пунктирная линия — ответ на засвет экрана, сплошная — на предметное изображение. Начало ответа совпадает с моментом предъявления стимула

Возрастные особенности системной организации процесса восприятия. Гетерохронное созревание структур мозга, участвующих в реализации этой функции определяет очень существенные качественные преобразования ее мозговой организации в процессе индивидуального развития ребенка. С момента рождения ребенка функционируют проекционные отделы коры. В ответ на зрительные стимулы в этих отделах регистрируются локальные вызванные потенциалы, характеризующиеся относительно простой формой и длительным латентным периодом. Это свидетельствует о возможности осуществления элементарного сенсорного анализа уже в период новорожденности. Однако, по образному определению И.М.Сеченова, новорожденный «видит, но видеть не умеет». Восприятие, создание образа предмета связано с функцией ассоциативных областей. По мере их созревания они начинают включаться в анализ и обработку поступающей информации. В раннем детском возрасте до 3—4 лет включительно заднеассоциативные зоны дублируют функцию проекционной коры. Их вызванные ответы по форме, временным параметрам, реактивности соответствуют ответам проекционной зоны.

Качественный скачок в формировании системы восприятия отмечен после 5 лет. К 6—7 годам заднеассоциативные зоны специализированно вовлекаются в процесс опознания сложных изображений, а в проекционной коре осуществляется более простой анализ, например выделение контура и контраста. На этом этапе развития существенно облегчается опознание сложных, ранее незнакомых предметов, сличение их с эталоном.

В школьном возрасте система зрительного восприятия продолжает усложняться и совершенствоваться за счет переднеассоциативных областей. Эти области, ответственные за принятие решения, оценку значимости поступающей информации и организацию адекватного реагирования, обеспечивают формирование произвольного избирательного восприятия. Существенные изменения избирательного реагирования с учетом значимости стимула отмечены к 10—11 годам. Недостаточная сформированность этого процесса в 7—8 лет обуславливает затруднение в выделении основной значимой информации и отвлечение на несущественные детали. Продолжительность созревания нейронного аппарата переднеассоциативных областей коры в онтогенезе определяет совершенствование процесса восприятия на протяжении всего восходящего периода развития, включая подростковый.

Нейрофизиологические механизмы внимания

Внимание — одна из важнейших психологических функций. Оно — обязательное условие результативности любой деятельно-

сти, будь то восприятие реальных предметов и явлений, выработка двигательного навыка или операции с числами, словами, образами, совершаемые в уме.

Выделяются два типа внимания — произвольное (активное), направленное на сознательно выбранную цель, и непроизвольное (пассивное), возникающее при неожиданных изменениях во внешней среде — новизне, неопределенности.

Структурно-функциональная организация внимания. *Непроизвольное внимание* по механизму близко к ориентировочной реакции, оно возникает на новое или неожиданное предъявление стимула. Начальная ситуация неопределенности требует мобилизационной готовности коры больших полушарий, и основным механизмом, запускающим непроизвольное внимание, является вовлечение в этот процесс ретикулярной модулирующей системы мозга (см. рис. 55). Ретикулярная формация по восходящим связям вызывает генерализованную активацию коры больших полушарий, а структуры лимбического комплекса, оценивающие новизну поступающей информации, по мере повторения сигнала опосредуют либо угасание реакции, либо ее переход к вниманию, направленному на восприятие или организацию деятельности.

Произвольное внимание в зависимости от конкретных задач, потребностей, мотивации облегчает, «оптимизирует» все этапы осуществления познавательной деятельности: начальный — ввод информации, основной центральный — ее анализ и оценку значимости и конечный результат — фиксацию нового знания в индивидуальном опыте, поведенческую реакцию, необходимые двигательные действия.

На этапе ввода и первичного анализа стимула, его выделения в пространстве важная роль принадлежит двигательным компонентам внимания — глазным движениям. Процессы, происходящие на уровне среднего мозга (четверохолмие), обеспечивают саккадические движения глаз, помещающие объект в область наилучшего видения на сетчатке. Реализация этого механизма происходит при участии заднеассоциативной теменной коры, которая получает разномодальную информацию от сенсорных зон (информационная составляющая) и от коркового отдела лимбической системы (мотивационная составляющая). Формирующиеся на этой основе нисходящие влияния коры управляют структурами среднего мозга и оптимизируют начальный этап восприятия.

Обработка информации о стимуле, представляющем определенную значимость для организма, требует поддержания внимания и регуляции активационных влияний. Управляющий эффект (локальная активация) достигается регулирующими влияниями лобной коры. Реализация локальных активирующих влияний осуществляется через ассоциативные ядра таламуса. Это так называемая фронто-таламическая система внимания. В механизмах локаль-

ной активации значительная роль принадлежит также структурам лимбической системы (гиппокамп, гипоталамус, миндалина, лимбическая кора) и их связям с лобным неокортексом (см. рис. 56).

Активация исполнительных механизмов, включающих моторные программы и программы врожденного и приобретенного поведения, осуществляется с участием лобных отделов и базальных ганглиев, находящихся под двойным контролем — коры и лимбического мозга.

Таким образом, произвольное селективное внимание обеспечивается целыми комплексами иерархически организованных структур. В результате активирующие влияния становятся опосредованными результатами анализа ситуации и оценки значимости, что способствует формированию системы активированных мозговых центров, адекватной условиям выполняемой задачи.

ЭЭГ-анализ мозговой организации внимания. В ЭЭГ при генерализованной тонической активации в ответ на предъявление нового стимула, вызвавшего непроизвольное внимание, возникает десинхронизация основного ритма (рис. 62) — блокада среднечастотного альфа-компонента, доминирующего в состоянии покоя, и усиление представленности высокочастотных колебаний альфа-диапазона, бета- и гамма-активности.

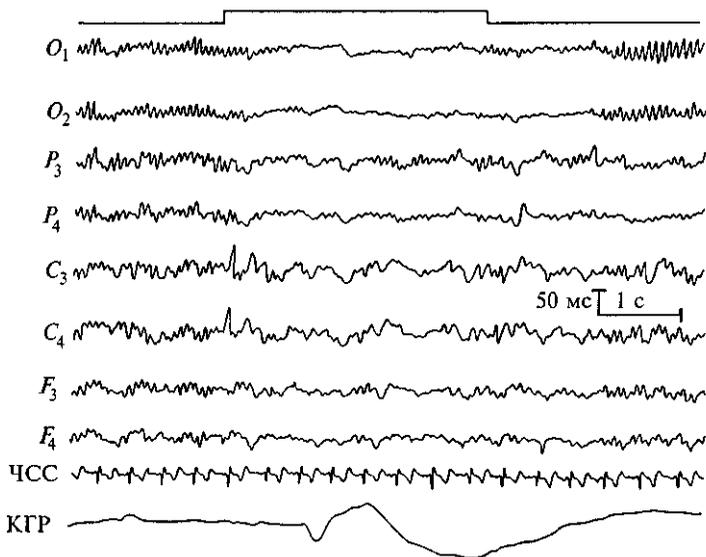


Рис. 62. Блокада альфа-ритма — реакция десинхронизации в коре больших полушарий при первом предъявлении нового стимула — тона (отмечено на верхней линии). Отведения обозначены слева от кривых (здесь и на последующих рисунках нечетные цифры — левое, четные — правое полушарие). КГР — кожно-гальваническая реакция

Значимость функциональных объединений структур при селективном внимании была продемонстрирована при изучении мозговой организации направленного модально специфического внимания в ситуации ожидания определенной перцептивной задачи. Информация о модальности стимула, подвергающегося бинарной классификации, которую заранее получал испытуемый, приводила к формированию в коре левого полушария функциональных объединений на частоте альфа-ритма в период, непосредственно предшествующий перцептивной деятельности, с центром интеграции в области корковой проекционной зоны соответствующей модальности — в височной зоне при ожидании слуховой задачи, в сенсомоторной корковой зоне при тактильной, в затылочной при зрительной. Существенно, что именно такая организация предстимульного внимания способствовала правильному решению задачи (рис. 63). Активность правого полушария в этой ситуации не связана с обеспечением правильного ответа при ожидании задачи.

Возрастные особенности структурно-функциональной организации внимания. Признаки произвольного внимания обнаруживаются уже в период новорожденности в виде элементарной ориентировочной реакции на экстренное применение раздражителя. Эта реакция еще лишена характерного исследовательского компонента, но она уже проявляется в определенных изменениях электрической активности мозга, вегетативных реакциях (изменение дыхания, частоты сердцебиения).

В 2—3-месячном возрасте ориентировочная реакция приобретает черты исследовательского характера. В грудном, так же как и в начале дошкольного возраста, корковая генерализованная активаци-

РОСТ КОГЕРЕНТНОСТИ АЛЬФА-КОЛЕБАНИЙ В СИТУАЦИИ ПРЕДСТИМУЛЬНОГО ВНИМАНИЯ



Рис. 63. Специфика функциональной организации структур левого и правого полушарий в ситуации предстимульного селективного внимания. На схемах обозначены отведения. Линиями соединены области коры, в активности которых наблюдается достоверный рост значений Ког альфа-ритма перед правильным ответом по сравнению с неправильным. ЛП — левое, ПП — правое полушарие

ция представлена не блокадой альфа-ритма, а усилением тета-ритма, отражающего повышенную активность лимбических структур, связанных с эмоциями. Особенности активационных процессов определяют специфику произвольного внимания в этом возрасте: внимание маленького ребенка привлекают в основном эмоциональные раздражители. По мере созревания системы восприятия речи формируется социальная форма внимания, опосредованная речевой инструкцией. Однако вплоть до 5-летнего возраста эта форма внимания легко оттесняется произвольным вниманием, возникающим в ответ на новые привлекательные раздражители.

Существенные изменения корковой активации, лежащей в основе внимания, отмечены в 6—7-летнем возрасте. Обнаруживается зрелая форма корковой активации в виде генерализованной блокады альфа-ритма. Существенно возрастает роль речевой инструкции в формировании произвольного внимания. Вместе с тем в этом возрасте еще велико значение эмоционального фактора.

Качественные сдвиги в формировании нейрофизиологических механизмов произвольного внимания связаны со структурно-функциональным созреванием лобных отделов коры, обеспечивающих организацию процессов локальной регулируемой активации в соответствии с принятием решения на основе проанализированной информации, мотивации или словесной инструкции. В результате этого в деятельность избирательно включаются определенные структуры мозга, активность других затормаживается, и создаются условия для наиболее экономичного и адаптивного реагирования.

Важнейшим этапом в организации произвольного внимания является младший школьный возраст. В 7—8 лет недостаточная зрелость фронтально-таламической системы регуляции активационных процессов определяет большую степень их генерализации и менее выраженную избирательность объединения корковых зон в рабочие функциональные конstellации в ситуации предстимульного внимания, предваряющего конкретно реализуемую деятельность. К 9—10 годам механизмы произвольной регуляции совершенствуются; активационные процессы становятся более управляемыми, определяя улучшение показателей организации деятельности.

Роль различных структур головного мозга в потребностно-эмоциональной сфере

Потребности и мотивации. *Потребности* являются внутренним источником активного взаимодействия организма с внешней средой и рассматриваются как основная детерминанта поведения, направленного на достижение определенной цели. И.П.Павлов

ввел понятие «рефлекса цели» как выражения стремления живого организма к обладанию чем-либо — пищей, различными предметами. Сфера потребностей человека очень широка. Она включает как биологические, так и социальные и духовные потребности.

Биологические потребности связаны с активностью нервных центров гипоталамуса. В экспериментах на животных с электродами, вживленными в различные ядра гипоталамуса, было отмечено, что у голодного животного резко возрастала электрическая активность определенных участков гипоталамуса. При насыщении усиление электрической активности этих структур прекращалось. Их раздражение вызывало пищевое поисковое поведение. При раздражении других ядер наблюдались отказ от пищи, половое возбуждение, агрессивно-оборонительное поведение.

Биологические потребности человека отличаются от животных. Их реализация не носит непосредственного характера и в значительной мере определяется социальными и культурными факторами. Это свидетельствует о том, что даже биологические потребности у человека находятся под контролем регулирующих структур коры больших полушарий. Актуализируемая, наиболее значимая на данный момент потребность, приобретающая все свойства доминанты, называется *мотивацией*. По теории доминанты А.А.Ухтомского, она подчиняет себе деятельность организма, обеспечивая приоритетность данного поведенческого акта и подавляя другие виды деятельности.

Эксперименты с созданием искусственной доминанты показали, что на ее фоне повышаются чувствительность нейронных систем в структурах, охваченных доминантным состоянием, скорость протекающих в них процессов и конвергентные способности. Мотивация выступает как пусковой механизм формирования функциональной системы, активизируя структуры, включающиеся в афферентный синтез, принятие решения, выработку программы и ее коррекцию на основе результатов действия.

Мотивация реализуется при непосредственном участии гипоталамуса и других отделов лимбической системы, где наряду с основными центрами, связанными с биологическими потребностями, расположены структуры, участвующие в оценке и регуляции этапов поведения, направленных на удовлетворение потребности. В общую многоуровневую систему реализации мотивации вовлекается и кора больших полушарий, организующая активное поисковое поведение.

Эмоции, их физиологическая основа. В тесной связи с мотивационно-потребностной сферой находятся эмоции. Эмоции рассматриваются как психический процесс, активно включающийся в модуляцию функционального состояния мозга и организацию поведения, направленного на удовлетворение актуальных потребностей. При этом эмоции отражают субъективное отношение к

внешнему миру, окружающим людям, самому себе, собственной деятельности и ее результату.

Мозговая организация эмоций исследовалась в экспериментах на животных с разрушением и раздражением различных подкорковых структур, а также в клинике локальных поражений мозга у человека. Наиболее яркие эффекты были получены при раздражении определенных ядер гипоталамуса, вызывавшем эмоциональные реакции разного знака. Стимуляция зон латерального гипоталамуса приводила к стремлению животных (крыс) к продлению этого состояния путем самораздражения. Раздражение других центров гипоталамуса вызывало реакцию избегания. Области мозга, раздражение которых вело к подкреплению и избеганию, получили название центров удовольствия и неудовольствия соответственно с позитивной и негативной эмоциональной окраской. Эмоциональные реакции разного знака были получены и при раздражении других отделов лимбической системы.

Как было сказано выше, лимбические структуры входят в состав модулирующей системы мозга, и это определяет важную роль эмоций в регуляции активационных процессов — генерализованной и локальной активации, а следовательно, и в организации поведенческих реакций.

Мозговая организация эмоций, как и других психических функций, многоуровневая. Лимбическая система обладает связями с ассоциативными областями неокортекса.

В клинических исследованиях выявилась специфическая роль лобной и височной коры в проявлении эмоций. При разных типах поражения лобных долей отмечались глубокие нарушения эмоциональной сферы, затрагивающие в основном высшие эмоции, связанные с социальными отношениями, произвольной деятельностью, творчеством. Наблюдалось растормаживание влечений, неустойчивость эмоционального фона от депрессии до эйфории.

При височных поражениях, особенно справа, нарушается опознание эмоциональной интонации речи.

Выявлена неодинаковая роль ассоциативных отделов в эмоциональном регулировании. Так, показано, что при правосторонних поражениях возникает состояние эйфории и беспечности. Левосторонние поражения приводят к преобладанию озабоченности и тревожности: больные беспокойны и часто плачут.

На основании этих данных возникло представление о преимущественной связи правого полушария с отрицательным эмоциональным фоном, а левого полушария — с положительным.

Возрастные особенности потребностно-эмоциональной сферы ребенка. У детей уже с первых месяцев жизни очень велика потребность в новизне. Удовлетворение потребностей в новизне вызывает положительные эмоции, и те, в свою очередь, стимулируют деятельность ЦНС. Согласно представлению П.В.Симонова,

эмоция, компенсируя недостаток сведений, необходимых для достижения цели, обеспечивает продолжение действий, способствует поиску новой информации и тем самым повышает надежность живой системы.

Эмоции детей из-за слабости контроля со стороны высших отделов ЦНС неустойчивы, их внешние проявления несдержанны. Ребенок легко и быстро плачет и так же быстро от плача может перейти к смеху. От радости ребенок громко смеется, кричит, машет руками. С возрастом, по мере созревания коры больших полушарий и усиления ее влияний на нижележащие подкорковые структуры, сдержанность эмоциональных проявлений возрастает. Тесная связь эмоций с потребностями определяет необходимость учета возрастных особенностей эмоциональной сферы ребенка в процессе воспитания. Воспитание способно существенно влиять даже на биологические, врожденные потребности, изменять степень и формы их проявления. Еще более велика роль воспитания в формировании социально обусловленных, в том числе познавательных, потребностей. Расширение сферы потребности с помощью целенаправленных воспитательных мероприятий, тесно связанных с эмоциями на этапе развития, который характеризуется повышенной эмоциональной активацией, будет способствовать расширению диапазона внешних воздействий, привлекающих внимание, и тем самым приведет к совершенствованию познавательных процессов и целенаправленной деятельности ребенка.

Созревание высших отделов ЦНС в младшем школьном возрасте расширяет возможность формирования познавательных потребностей и способствует совершенствованию регуляции эмоций.

Нейрофизиологические механизмы памяти

Важнейшим свойством нервной системы является способность накапливать, хранить и воспроизводить поступающую информацию. На основе временной последовательности осуществляемых операций и длительности хранения следов различных событий выделяют сенсорную (перцептивную), кратковременную и долговременную память. *Сенсорная память* представляет собой след возбуждения в сенсорной системе от непосредственно действующего стимула и служит первичному анализу и дальнейшей обработке сенсорной информации. Ее особенностью является значительная емкость, до 20 элементов (бит). Длительность сохранения следов в перцептивной памяти не превышает 1 с. Воспроизведение следов в системе нейронных сетей (циркуляция возбуждений) обеспечивает кратковременное хранение информации уже ограниченной емкости (7 ± 2 бита) — *кратковременную память*. Предполагается, что за время реверберации импульсов по замкнутым нейронным

контурам, которое может продолжаться от нескольких секунд до нескольких минут, происходит перевод импульсного кода в структурные изменения в синаптическом аппарате и в теле нейрона.

Долговременная память — это неопределенно долгое хранение информации, составляющей индивидуальный опыт. Долговременная память базируется на определенной фиксированной структуре биохимических и молекулярных изменений в нейронах, что обеспечивает ее устойчивость и длительность хранения информации.

Выделение различных видов памяти на основе временного параметра относительно. На самом деле процессы памяти более сложно разветвляются во времени и взаимодействуют в процессе реальной деятельности. В процессе восприятия или организации целенаправленного акта как кратковременная, так и долговременная память могут перейти в активное состояние, так называемую рабочую память.

Рабочая, или оперативная, память — это актуализированная система следовых процессов, активно использующихся во время организации и выполнения различных видов деятельности и целенаправленного поведения. Рабочая память представляет собой один из компонентов афферентного синтеза в функциональной системе. Извлеченные следы взаимодействуют с обстановочной и пусковой афферентацией для принятия решения и формирования программы действий.

Структурно-функциональная организация памяти. Память обеспечивается функционированием многоуровневой системы мозговых структур. В нее включаются сенсорные корковые зоны, где формируется первичный след сенсорной информации, ассоциативные области, где синтезируется материал для образной и словесно-логической памяти.

В процессе перевода информации из кратковременной памяти в долговременное хранение участвует гиппокамп. При его поражении теряется память о текущих событиях, долговременная память при этом сохраняется. Это так называемый синдром Корсакова.

В формировании эмоциональной памяти ведущая роль принадлежит миндалине, которая обеспечивает быстрое и прочное запечатление эмоционально значимых событий даже после их одноразового появления.

Гиппокамп и миндалина тесно связаны с височной корой, которая рассматривается как «хранилище» долговременной памяти.

В отборе информации для хранения и в актуализации следов (перевода их в рабочую память), необходимых для организации целенаправленного поведения, ведущая роль принадлежит лобным отделам коры, имеющим двусторонние связи со структурами лимбической и ретикулярной системы.

Лобные отделы как высшее звено неспецифической активирующей системы участвуют на основе оценки значимости инфор-

мации в создании оптимального уровня активации для фиксации следов и их воспроизведения.

Молекулярные механизмы памяти. Началом представления о специфических носителях памяти послужили исследования Х. Хидена, показавшего, что образование следов памяти сопровождается изменением структуры РНК с последующим образованием новых белков. В дальнейшем было показано, что РНК участвует в передаче специфического кода, а в качестве хранилища информации выступает ДНК.

Исследование молекулярных механизмов памяти рассматривается как перспективное направление. Однако в основе долговременной памяти лежат не только преобразования на уровне отдельных клеток, но и на системном уровне. Эти преобразования обеспечиваются медиаторными системами мозга, объединяющими разные структуры, участвующие в операциях запечатления и воспроизведения следовых процессов, в распределенную динамическую систему памяти.

Возрастная динамика памяти. Механизмы памяти претерпевают значительные изменения с возрастом. Память, основанная на простом запечатлении следа, — сенсорная память — осуществляется на ранних этапах развития. По мере развития сенсорных систем и усложнения процесса восприятия формируется образная память. На ранних этапах развития формируется также память в основе которой лежит механизм выработки условного рефлекса. Этот вид памяти является базовым в формировании навыка, простых форм памяти. Относительная простота системы памяти в детском возрасте определяет устойчивость и прочность запоминания в раннем детстве. По мере структурно-функционального созревания коры больших полушарий, развития речевой функции формируется свойственная человеку словесно-логическая память. Человек способен запоминать не только и не столько подробности информации, сколько общие положения. Так, в прочитанном тексте взрослый человек запоминает не словесную формулировку, а содержание. Созревание высших корковых формаций с возрастом определяет длительность и постепенность развития и совершенствования этого вида памяти.

Речь и ее мозговая организация

Речь — специфически человеческая функция, возникшая в процессе эволюции. Для ее обозначения и подчеркивания различий физиологических механизмов речи как формы общения с внешним миром от имеющихся у животных И.П.Павлов ввел понятие второй сигнальной системы, в то время как у животных имеется только первая сигнальная система восприятия непосредственных призна-

ков внешних стимулов. Слово, хотя тоже является стимулом, воспринимается через сенсорные системы и может обозначать предмет, отличается тем, что в нем отражаются наиболее существенные свойства внешних объектов. Оно обеспечивает возможность обобщенного и отвлеченного отражения действительности.

Выделяются коммуникативная, регулирующая и программирующая функции речи. Речь обеспечивает общение между людьми, служит для обмена информацией и побуждения к действию. Посредством слов человек познает предметы и явления внешнего мира без непосредственного контакта с ними, устанавливает связи и отношения. Речь является основой процесса мышления. Среда, в которой развивается ребенок, определяет формирование родного языка. У человека имеются генетические предпосылки языкового общения, они заложены в структуре мозга и артикуляционного речевого аппарата.

Регулирующая функция речи проявляется в сознательных формах психической деятельности. Речи принадлежит важная роль в развитии произвольного волевого поведения. От внешней регуляции поведения, обеспечиваемой коммуникативной функцией речи, ребенок в процессе развития приобретает возможность преобразовывать внешние речевые сигналы — приказы — во внутреннюю речь (процесс интериоризации). С помощью внутренней речи человек сам может регулировать свое поведение.

Программирующая функция речи состоит в формулировании программ различных действий и поведения на основе внутренней речи. В собственно речевой (вербальной) деятельности это проявляется в программировании и грамматическом построении развернутого речевого высказывания.

Системная организация речевой деятельности. Выделение центров речи привело к представлению об узком локальном представительстве речевой функции. Вербальную деятельность представляли как взаимосвязь центров восприятия речи (Вернике) и ее воспроизводства (Брока) и локализовали у правой исключительной и левой полушарии (рис. 64).

Важный вклад в понимание функциональной организации структур мозга при осуществлении речевой функции внесли нейропсихологические исследования А. Р. Лурия. Было показано, что при различных по локализации мозговых поражениях нарушается сложная структура речевой деятельности. Характер нарушений зависит от того, какая структура мозга повреждена.

Существенную роль в восприятии слышимой речи играют вторичные отделы слуховой коры левого полушария, которые воспринимают элементарные коды слов — фонемы. Например: лук, лак, лук или бар — пар. Различение фонем (фонематический слух) страдает при поражении этих структур, понимание точного значения слов становится невозможным. Фонемы — это звуки речи,

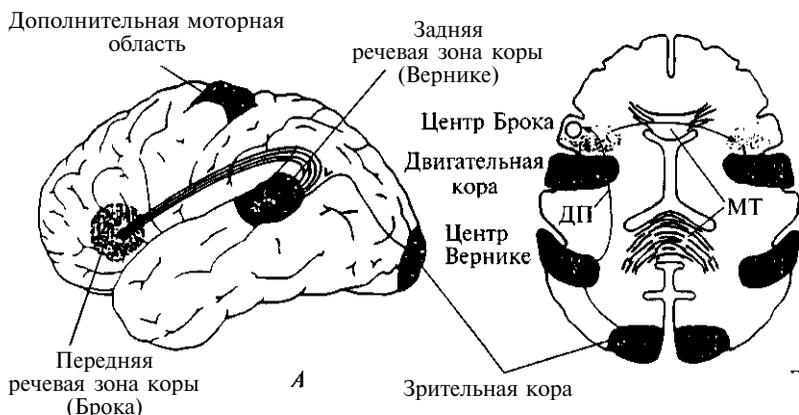


Рис. 64. Центры речи (области Вернике и Брока) в левом полушарии (А) и на горизонтальном срезе мозга (Б). Мт — мозолистое тело; ДП — диагональный пучок, связывающий речевые центры

замещение которых изменяет смысл слова и отвечает за специфический для вербальной функции фонематический слух. Нарушения в этой области делают невозможным понимание точного и конкретного значения слов. Такую же роль в зрительном восприятии слов играют вторичные зрительные зоны.

Понимание смысла слов, особенно в зависимости от контекста (в предложении), и целостного речевого высказывания (семантический анализ) страдает при поражении глубоких отделов левой височной доли, ответственной за слухо-речевую память, и заднеассоциативных областей, включая центр Вернике, где элементы речевой структуры интегрируются в смысловую схему.

При сохранности этих структур и нарушении лобных отделов, с которыми связаны программирование действий, активный поиск информации, анализ наиболее существенных элементов содержания сложных развернутых высказываний, их понимание становится невозможным.

Сложноорганизованной является и система называния предметов и устной речи. Непосредственно реализация устной речи происходит с участием нижних отделов премоторной области левого полушария, где локализован центр Брока. Нарушения в этой области приводят к застреванию на каком-нибудь слоге, перестановке букв, многократном повторении предыдущей артикуляции. Вместе с тем реализация устной речи происходит с участием других структур мозга.

Так, называние предмета требует перекодировки зрительного образа в его звуковой эквивалент. Эта операция связана с теменно-затылочными отделами мозга. Другим важным условием адекватного называния предмета является сохранность акустической

структуры слова, что является функцией левой височной области. Нарушение названия может быть связано и с более сложными мозговыми процессами: необходимость единственно правильного названия предмета требует торможения всех побочных альтернатив, что включает лобную кору, управляющую всей активирующей системой мозга.

Роль лобной коры особенно велика в воплощении замысла и намерения речевого высказывания в устную словесную форму. При лобном синдроме (повреждение лобных областей) отсутствует самостоятельно возникающее высказывание (речевая инициатива). Больные в диалоге ограничиваются пассивными и односложными повторениями.

В последнее время была выявлена важная роль в речевых процессах так называемой дополнительной моторной области, расположенной впереди от центральной (Роландовой) борозды (см. рис. 64) и являющейся частью лобных долей мозга. У больных с поражением этой области нарушается ритм речи, интонация. Существенно страдает грамматический порядок слов — больные пропускают союзы, местоимения, затрудняются в использовании глаголов. Эти нарушения затрагивают как произносимую, так и слышимую речь.

Необходимо подчеркнуть, что, несмотря на то что основные речевые центры расположены в левом полушарии, правое тоже вовлекается в речевую функцию.

При поражении правого полушария страдают интонационные компоненты речи, нелингвистические компоненты речи — интонация, параметры основного тона (высота, громкость), эмоциональная окраска. Структуры, управляющие голосовыми реакциями, тесно связаны на разных уровнях с лимбической системой мозга, что и привносит в звучащую речь эмоциональный компонент. Правое полушарие ответственно и за зрительно-пространственный анализ вербального материала.

Важные сведения о мозговой организации речевых процессов были получены и с помощью ЭЭГ-анализа, и компьютерной томографии (см. рис. 53). Как показали результаты ЭЭГ-анализа, при вербальных операциях (составление слов из букв) усиливается степень взаимодействия областей левого полушария, участвующих в речевой деятельности. В правом полушарии отмечается взаимодействие лобной и затылочной области; вовлечение зрительной проекционной зоны связано со зрительным предъявлением букв.

Следует подчеркнуть специфику ритмического компонента, образующего функциональные объединения в левом и правом полушариях: в левом взаимодействии областей осуществляется по высокочастотному компоненту альфа-ритма, в правом — по низкочастотному.

О вовлечении структур правого и левого полушария в вербальную деятельность свидетельствует и избирательное усиление ме-

таболлизма в определенных корковых зонах, обнаруживаемое в томографических исследованиях.

Показано участие в речевой деятельности глубинных структур мозга. При исследовании нейронной активности таламуса у человека обнаружены нейроны, изменяющие конфигурацию и частоту разряда при предъявлении речевых стимулов. Поражение таламических структур приводит к нарушению разных аспектов речевой деятельности.

Развитие механизмов речи. Речь формируется в течение первых лет жизни ребенка. Уже с момента рождения начинают формироваться системы, ответственные за восприятие звуков речи и артикуляционные механизмы. С момента рождения ребенок воспринимает фонемы. Показано, что ВП, регистрируемые при восприятии фонем, отличаются от таковых на тоны и звуковые щелчки. Первые звуки, издаваемые ребенком, — гуление — не несут еще языковой специфичности, однако уже на 1-м году лепет различен у детей, развивающихся в разной языковой среде. На основе формирования сенсорных систем, и прежде всего зрительной, формируется назывательная (номинативная) функция речи — ребенок ассоциирует предметы и их названия. Для развития речевой функции важнейшее значение имеет речевой контакт — коммуникативная функция речи. По мере развития высших отделов мозга, ответственных за произвольную регуляцию деятельности, формируются регулирующие и программирующие функции речи. Целостная вербальная деятельность, ее абстрактно-логические и графические формы (чтение и письмо) развиваются и совершенствуются в течение длительного периода развития ребенка, охватывающего весь процесс обучения в школе.

Вопросы и задания

1. В чем состоит принцип системной организации деятельности мозга?
2. Охарактеризуйте сущность учения И. П. Павлова о высшей нервной деятельности.
3. В чем заключается принцип доминанты А.А.Ухтомского?
4. Опишите основные блоки функциональной системы по П.К.Анохину.
5. Охарактеризуйте многоуровневую систему приема и обработки сенсорной информации.
6. Как осуществляется кодирование информации и ее обработка?
7. Опишите возрастные особенности процесса восприятия информации и укажите, чем они определяются?
8. Охарактеризуйте нейрофизиологические механизмы внимания и их возрастные особенности.
9. Какие отделы мозга являются структурно-функциональной основой эмоций и потребностей?
10. Охарактеризуйте механизмы памяти и их возрастные изменения.

11. Опишите мозговую организацию речи и формирование речевых функций в процессе развития ребенка.

Глава 15. ЦЕНТРАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ДВИЖЕНИЙ

Любое взаимодействие человека с окружающей средой, любое действие связано с движением или включает в себя движение. Взгляд, улыбка, жест, ходьба, физические упражнения, письмо и речь — все это движения. Просто стоять, поддерживая определенную позу, — значит тоже совершать определенные движения.

Вполне справедливо мнение известного русского физиолога И. М. Сеченова: «...Все бесконечное разнообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению — мышечному движению. Вне зависимости от того, нужно ли вам почесать нос, выполнить сложнейшее танцевальное "па" или поставить свою подпись, в реализацию движения включаются разные звенья нервной системы от коры мозга до двигательных нервов, приводящих в действие мышцы нашего тела»¹.

Согласно современным представлениям, организация (подготовка) и управление движениями человека осуществляются многоуровневой, иерархически (соподчиненно) организованной системой, включающей различные отделы центральной нервной системы.

Непроизвольные и произвольные движения

Существует разделение движений на непроизвольные (бессознательные) и произвольные (осознанные). С одной стороны, это разделение весьма условно, так как существует большой класс движений, которые в зависимости от ситуации будут бессознательными или осознанными. Например, дыхание — это комплекс движений грудной клетки и ряда мышц плечевого пояса, осуществляющийся неосознанно даже при самом глубоком сне и в состоянии наркоза, но дыхательные движения, осуществляемые этими мышцами при пении, вряд ли можно считать неосознанными (это специальные дыхательные движения, которые формируются в процессе обучения пению). Или другой пример — сосательные движения младенца с первых минут жизни явно непроизвольны, но те же движения, которые выполняет человек при

¹ Сеченов И.М. Избранные произведения. — М., 1952. — Т. 1. — С. 91.

отсасывании яда после укуса змеи, — точно, осознанны и произвольны. По-видимому, более корректно говорить о более или менее осознанных движениях.

Краткую и точную характеристику произвольных движений дал известный исследователь Рагнар Гранит: «Произвольным в произвольном движении является его цель». Произвольные движения — самые сложные по своей структуре. Их реализация невозможна без участия высших двигательных центров. Все движения, которые ребенок осваивает в своей жизни, которым его обучают, — это произвольные движения. Учится ли он ходить или бегать, складывает ли кубики или завязывает шнурки, выводит первые буквы или застегивает пуговицы — все это целенаправленные движения, осуществление которых подчинено достижению «полезного результата действия».

Общий план организации двигательной системы можно представить в виде схемы (рис. 65). Это очень упрощенная схема, ибо путь от коры к мотонейронам (от центра к периферии) на каждом

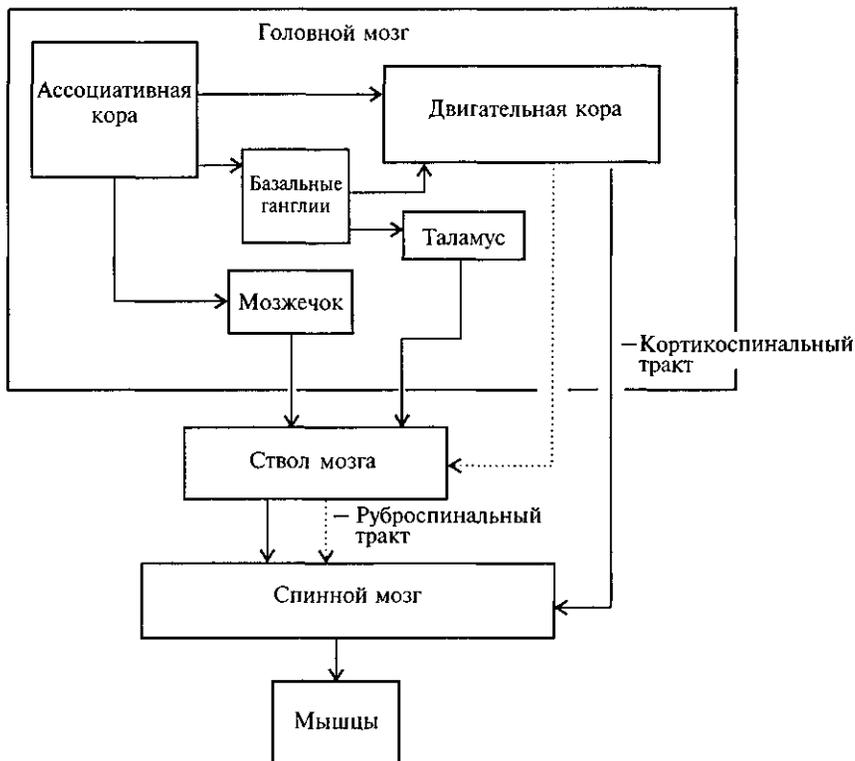


Рис. 65. Общая схема организации двигательной системы. Важнейшие структуры системы и их взаимосвязи

участке (этапе) имеет свою сложную структуру взаимоотношений, параллельные пути обработки и передачи информации, и особую структуру взаимодействия между чувствительными и двигательными системами. Эффективное осуществление движений невозможно без постоянного поступления разных видов сенсорной информации (соматосенсорной и вестибулярной, зрительной и слуховой). В то же время для получения сенсорной информации необходимы движения. Видимо, поэтому для описания ряда двигательных актов используется термин «сенсомоторный», хотя нельзя исключить сенсорную информацию из общей схемы организации движений.

Рассмотрим роль каждого из отделов нервной системы в организации движений.

Высшие двигательные центры

Высшие двигательные центры — это структуры мозга, расположенные выше спинного мозга и участвующие в регуляции движений.

Подкорковые и корковые мотивационные зоны, включая ассоциативные области коры, формируют побуждение к действию или «принятие решения о действии». По Н.А. Бернштейну, «...задача действия, иными словами, результат, которого организм стремится достигнуть, есть нечто такое, что должно стать, но чего еще нет. Таким образом, задача действия есть закодированное в мозгу отображение или модель потребного будущего... Еще точнее будет сказать, что реакцией организма и его верховных управляющих систем на ситуацию является не действие, а **принятие решения о действии**¹. Представление Н.А. Бернштейна созвучно концепции функциональной системы П.К.Анохина.

В общей многоуровневой (подкорковые и корковые зоны) системе принятия решения (реализации мотивации) принимают участие гипоталамус и другие лимбические системы, а также фронтальные, ассоциативные зоны коры, т.е. структуры, обеспечивающие афферентный синтез, принятие решения и выработку программы действия. Этот уровень фактически определяет, «что делать», и во многом от того, как сформирована задача действия, зависит результат — качество выполнения движения.

Например, если мы даем ребенку задание написать букву, то в разном возрасте, при разной сформированности «задачи действия» он будет писать букву по-разному, как умеет, — печатную или письменную, каллиграфически правильно или кое-как.

О том, как преобразуются наши мысли и желания в разряды кортикальных нейронов, можно пока только догадываться. Одна-

¹ Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. — М., 1990.

ко методы нейрофизиологических исследований позволяют зарегистрировать изменения электрической активности отдельных зон коры мозга в ситуации, предшествующей движению. Причем при несформированном или новом виде движений в процесс подготовки (при определении «задачи действия») включены практически все зоны коры, а при сформированном, отработанном движении, как правило, фронтальные зоны, с деятельностью которых и связывается программирование движений.

Роль двигательных областей коры, базальных ганглиев и таламуса в организации движений

Важнейшей двигательной областью коры является прецентральная извилина (рис. 66, *a*). Ее функции были изучены путем раздражения обнаженной поверхности мозга и анализа параличей у больных инсультами. В 50-х годах XX в. американским ученым В. Пенфилдом были обнаружены интересные закономерности: во-первых, двигательная кора организована по соматотоническому принципу, т.е. каждый ее участок связан с определенной частью тела, во-вторых, области двигательной коры тех частей тела, которые осуществляют более разнообразные функции, больше по площади. Наиболее обширными, учитывая пропорции тела,

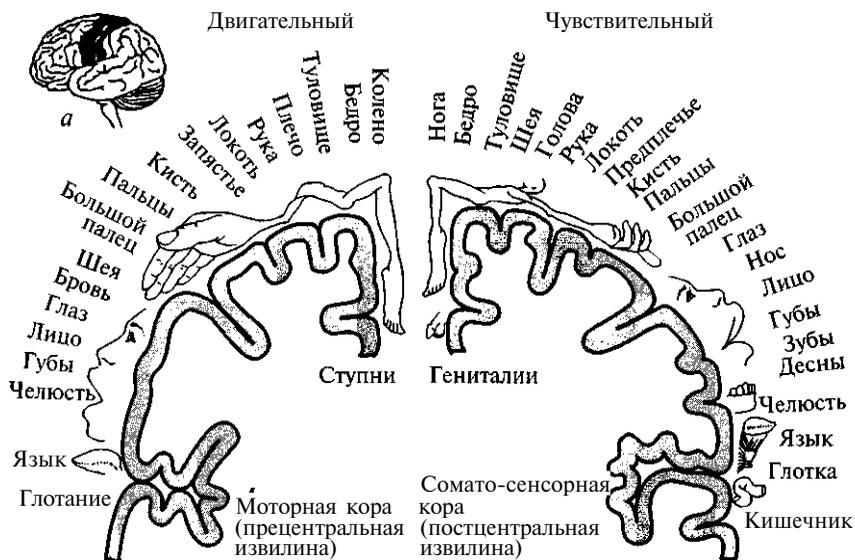


Рис. 66. Карта двигательных (*b*) и сенсорных (*c*) зон коры головного мозга человека

являются зоны, управляющие мышцами кисти руки и мимическими мышцами (см. рис. 66, б). Двигательные и чувствительные зоны коры примыкают друг к другу (см. рис. 66, а) и «чувствительный гомункулюс» почти повторяет карту двигательных зон (см. рис. 66, с). Этот рисунок иногда называют «двигательным гомункулюсом». Предполагается, что определенные типы движений, в которые вовлечены отдельные мышцы, представлены в различных участках двигательной области, причем размеры каждого участка зависят от сложности контролируемых им движений. Например, для участия в речевой функции двигательный центр мозга не только посылает команды к мышцам языка и гортани, но и хранит в памяти последовательность этих команд. Это объясняет, почему рост и развитие полей двигательной области начинаются в раннем детстве и продолжаются вплоть до зрелого возраста. Стимуляция двигательной коры вызывает лишь сокращение отдельных мышц или движение в суставах. Сложные целенаправленные двигательные акты так «запустить» невозможно. По-видимому, двигательная кора является той частью общей структуры регуляции движений, где замысел движения преобразуется в его программу. Фактически двигательная кора — первый компонент структуры регуляции движений, с которого начинается выполнение движения.

Нейроны коры, непосредственно связанные с мотонейронами спинного мозга, называются клетками Беца (по имени впервые описавшего их русского анатома XIX в.). Они лежат в глубине двигательной коры и относятся к самым крупным пирамидным нейронам головного мозга. Их аксоны сходятся в толстый пучок нервных волокон, называемый пирамидным трактом. Дойдя до спинного мозга, аксоны клеток Беца перекрещиваются: пучок, идущий от правого полушария, переходит на левую сторону и наоборот. Вот почему регуляция движений левой половины тела контролируется правым (контрлатеральным — противоположным) полушарием, а правой стороны — левым.

Двигательная область коры большого мозга является областью, воспринимающей, анализирующей и синтезирующей раздражения, идущие от скелетно-мышечной системы человека, и участвующей в межанализаторной интеграции. Относительно раннее формирование двигательной коры в онтогенезе, очевидно, определяется ее функциональной значимостью в обеспечении адекватного поведения детей. Двигательная зона коры обеспечивает осуществление произвольных движений, интегрируя деятельность различных анализаторов всей коры мозга и деятельность всего мозга, благодаря чему осуществляется срочная перестройка путей и форм контактов организма с окружающей средой.

Определенная морфофункциональная зрелость двигательной области коры головного мозга, необходимая для поддержания

процессов регуляции движений, отмечается у новорожденных уже с первых дней жизни.

Кроме двигательной области коры головного мозга, в регуляции движений участвуют базальные ганглии, таламус, мозжечок и ствол головного мозга.

Базальные ганглии (скопления нервных клеток, находящихся у основания больших полушарий, формирующиеся на ранних стадиях развития мозга, представляют собой важное подкорковое связующее звено между ассоциативными и двигательными зонами мозга. Базальные ганглии — это четыре образования: полосатое тело (стриатум), бледный шар (паллидум), субталамическое ядро и черная субстанция. Базальные ганглии получают все виды сенсорной информации, и, по-видимому, их функция заключается в «запуске» движений определенного типа — медленных целенаправленных движений конечностей в пространстве. Считается, что на уровне базальных ганглиев имеется готовый набор программ, которые используются в сложных двигательных действиях.

В таламус (структура промежуточного мозга) поступает вся соматосенсорная информация, необходимая для построения любой последовательности движений, и через таламус проходят сигналы от базальных ганглиев и мозжечка к коре.

Мозжечок, имеющий сложную структуру, играет особую роль в нервной регуляции движений, мышечного тонуса и позы.

Следует отметить, что все области коры больших полушарий, в том числе и двигательные, а также другие отделы мозга посылают информацию к мозжечку, к нему же через ассоциативные зоны коры поступают сигналы от периферических органов.

Основное значение мозжечка — дополнение и коррекция деятельности остальных звеньев системы регуляции движений. Экспериментальные данные позволяют выделить следующие функции мозжечка в осуществлении движений: регуляцию позы и мышечного тонуса, коррекцию медленных целенаправленных движений, выполнение последовательности быстрых целенаправленных движений.

В процессе осуществления движений и мозжечок, и базальные ганглии посылают сигналы к двигательной коре через таламус. Обе эти структуры участвуют в выработке программы движений. Таким образом, все эти структуры мозга — двигательная кора, базальные ганглии, таламус и мозжечок исполняют функцию формирования программы целенаправленных движений.

Стол головного мозга — образование головного мозга, через которое проходят нисходящие пути к спинному мозгу. Эти пути условно можно разделить на два вида — возбуждающие действия мышц сгибателей и возбуждающие действия мышц-разгибателей. Они оканчиваются в разных областях спинного мозга. Через ствол

мозга проходят и восходящие пути, связывающие между собой структуры ЦНС, которые осуществляют регуляцию движений. Структуры ствола мозга играют важную роль в регуляции позы, обеспечивающей эффективную реализацию движений (позные компоненты двигательной активности).

Спинной мозг — наиболее древнее образование нервной системы, включенное в структуру регуляции движений.

Нейроны спинного мозга образуют серое вещество, которое имеет на срезе вид буквы «Н». Передние и задние части серого вещества называются **передними и задними рогами**.

В передних рогах находятся двигательные нейроны, аксоны которых подходят к мышцам. В нейронах передних рогов заканчиваются нисходящие пути центральной нервной системы, регулирующие движения. Двигательный нейрон (мотонейрон) и его аксон вместе с мышечными волокнами, которые он контролирует, называют **двигательной единицей** (ДЕ). Один мотонейрон с помощью разветвлений своего аксона способен контролировать много мышечных волокон. Число волокон, управляемых одним мотонейроном, варьирует в зависимости от того, насколько тонкими должны быть движения мышцы. Например, в глазодвигательных мышцах на каждый нейрон приходится примерно по три мышечных волокна; в мышцах, приводящих в движение бедро, на один нейрон приходится сотня мышечных волокон.

Сила, которую может развить мышца, зависит от числа содержащихся в ней мышечных волокон. У мотонейронов, контролирующих крупные мышцы, такие как бицепсы или мышцы голени, аксоны имеют много разветвлений, для того чтобы передавать импульсы на мышечные волокна, причем веточки аксонов в этом случае гораздо толще, чем у нейронов, управляющих мелкими мышцами пальцев.

В задних рогах находятся нейроны, которые выполняют сенсорные функции и передают сигналы в вышележащие центры, в симметричные структуры противоположной стороны или к передним рогам спинного мозга.

Белое вещество спинного мозга состоит из миелиновых волокон, собранных в пучки. Эти волокна могут быть **короткими** (связывают нейроны разных сегментов или симметричные нейроны противоположных сторон спинного мозга) или **длинными** (восходящие — к головному мозгу и нисходящие — от головного мозга к спинному).

В каждой мышце есть чувствительные сенсорные нервы, по которым передается **проприоцептивная информация** — информация о положении и движении собственного тела, о напряжении мышцы, о положении сустава, от которых передается информация к чувствительным нервам. Специальные датчики — **рецепторы** — находятся либо в глубине мышцы, либо в сухожилиях —

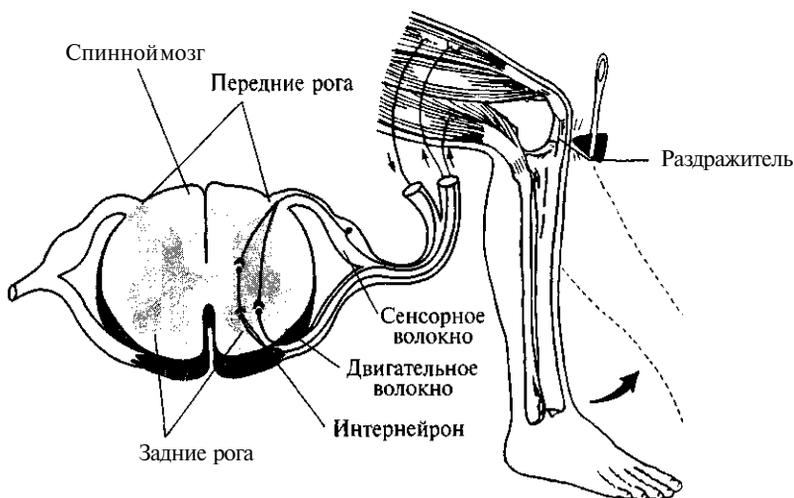


Рис. 67. Коленный рефлекс

местах прикрепления мышцы к кости. Эта информация передается либо в спинной мозг, либо в вышележащие нервные центры.

Спинальные рефлексы. Особый интерес представляет собственно *рефлекторная деятельность спинного мозга* (так называемые спинальные рефлексы) — относительно простые виды реакции, которые осуществляются на уровне спинного мозга без участия вышележащих структур.

Рассмотрим некоторые рефлексы спинного мозга на примере коленного рефлекса (рис. 67) и рефлекса болевого раздражения при уколе пальца иглой (кнопкой) (рис. 68).

В первом случае при ударе молоточком по сухожилию ниже коленной чашки растягивается расположенное выше сухожилие, прикрепленное непосредственно к четырехглавой мышце бедра. В результате активируются находящиеся в этом сухожилии рецепторы, которые по сенсорным волокнам передают возбуждение спинальным мотонейронам, и последние заставляют мышцы бедра сократиться, а ногу — подпрыгнуть. Весь рефлекс совершается очень быстро, обычно меньше чем за секунду.

Другие локальные реакции, которые осуществляются на уровне спинного мозга, связаны, например, с болевыми раздражителями.

При ударе током или случайном уколе рука отдергивается еще до того, как ощущается боль. В этом случае по чувствительным нервам информация передается в спинной мозг, а по двигательным нервам мгновенно передается сигнал к мышцам.

Внутренние системы спинного мозга осуществляют координацию работы мышц сгибателей и разгибателей, позволяя уравно-

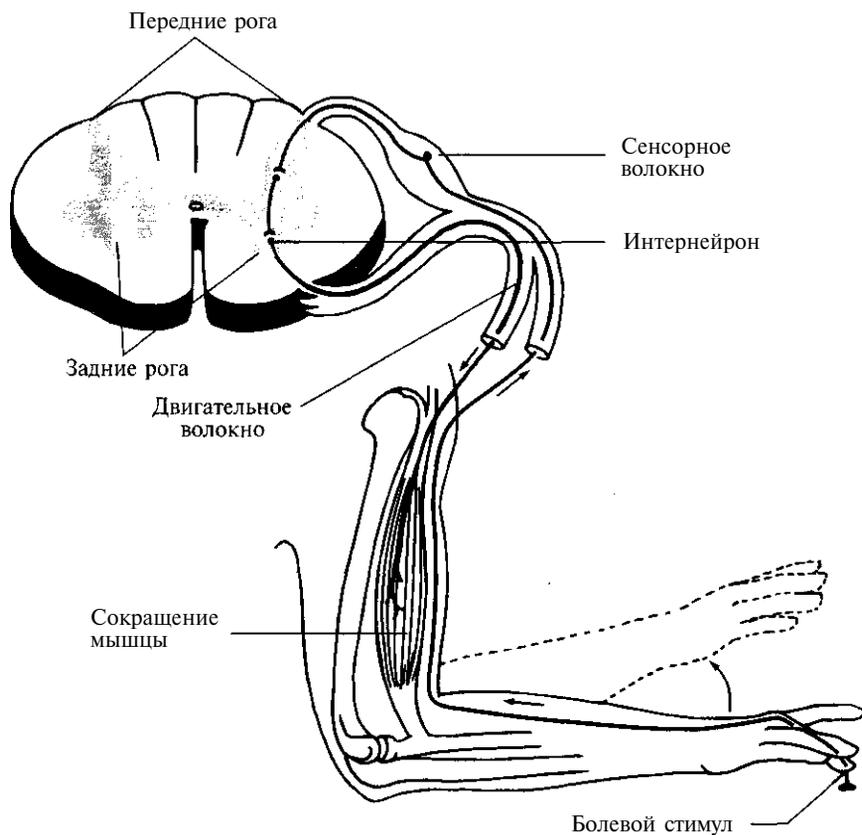


Рис. 68. Рефлекс болевого раздражения

вешивать движения рук, ног, тела при выполнении различных по сложности движений.

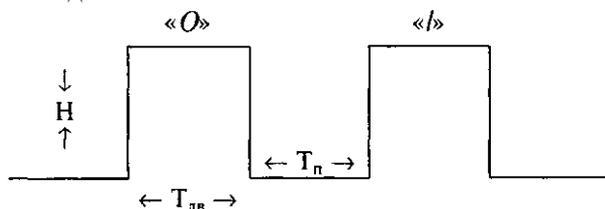
И все-таки при выполнении большинства движений мышцы сокращаются, т.е. движение реализуется, только если мы этого хотим, если это «не ответ на внешнее раздражение, а решение задачи» (Н.А. Бернштейн). При регуляции произвольных движений в двигательной системе осуществляется последовательная переработка нервных сигналов — от инициации движения моторной корой до сокращения мышц, контролируемых локаторными мотонейронами. Параллельные модифицирующие системы мозжечка, базальных ганглиев ствола мозга обеспечивают координированное и гладкое выполнение двигательной программы, поддержание необходимой позы, эффективность решения двигательной задачи.

Методы изучения произвольных движений

Существуют различные подходы к анализу механизмов регуляции движений.

Одним из направлений является изучение конечных результатов всех звеньев регуляции — проявлений двигательной деятельности. Это анализ самих движений, их механических параметров: скорости, ускорения, временной структуры (чередование различных циклов движений), перемещения различных частей тела при движении и т.п.

Например, при изучении движений в процессе письма используется либо специальная платформа с системой тензодатчиков (датчиков давления), либо специально сконструированная ручка, в которой тензодатчик укреплен на кончике пера (стержня) ручки. Такое устройство позволяет зарегистрировать механограмму движений, которая при письме буквы «а» схематически имеет следующий вид:



Примечание. $T_{дв}$ — время движения (продолжительность выполнения элемента); $T_{п}$ — время паузы между отдельными движениями в серии; H — сила давления; «О», «/» — элементы буквы «а».

Анализ механограммы движений позволяет изучить, как изменяется временная структура движений в процессе формирования навыка письма.

Специальные исследования показали, что на начальном этапе формирования навыка (при несформированной программе) движения очень медленны, нестабильны, продолжительность паузы практически равна продолжительности каждого движения в серии. (Это свидетельствует о необходимости значительного времени на коррекцию по ходу деятельности, осознание выполненного и программирование последующего действия.) Анализ временной структуры позволяет сравнить, как выполняются эти движения детьми разного возраста, как изменяется структура письма при утомлении, эмоциональном напряжении и т.п. Другой метод — регистрация траекторий движения используется при изучении спортивных и рабочих движений. В этих случаях регистрируется на фото- или видеопленке движущийся человек, у которого на определенных частях тела закреплены специальные датчики (светящиеся пластины, лампочки). В настоящее время существуют специаль-

ные системы компьютерной регистрации и анализа сложных движений человека.

Важную информацию о механизмах регуляции движений дает *электромиограмма* (ЭМГ) — запись электрических потенциалов мышц. Этот метод называется электромиографией. Накожные электроды закрепляются на брюшке мышцы, и регистрация ведется на специальном приборе — электромиографе. Электромиограмма позволяет анализировать силу, развиваемую мышцей, мышечное напряжение, распределение активности различных мышц в процессе осуществления движений. Например, ЭМГ при несформированной задаче действия свидетельствует о чрезмерном мышечном напряжении, отсутствии координации в деятельности разных мышц, напряжении мышц, непосредственно не участвующих в движении и т.п.

Для изучения нейронных механизмов регуляции движений используется, например, изучение сухожильных рефлексов, позволяющее оценить уровень возбудимости двигательных нейронов спинного мозга.

Для изучения центральных (мозговых) механизмов регуляции движений активно используется анализ электрической активности или вызванных потенциалов различных областей коры.

В последние десятилетия стала возможной комплексная оценка организации и регуляции произвольных движений на разных уровнях при одновременной регистрации электроэнцефалограммы, электромиограммы и механических параметров движения.

Возрастные изменения в системе регуляции движений

Возрастные изменения включенности в деятельность и роли различных структур системы регуляции движений определяются постепенным и гетерохронным созреванием всех ее компонентов.

К моменту рождения дифференцированы все корковые зоны, но наиболее развиты проекционные области. В этом возрасте в общих чертах завершается дифференцировка подкорковых структур, ядерных образований и проводящих путей спинного мозга (за исключением пирамидного тракта). Сложное строение имеют мышечные, суставные и сухожильные рецепторы.

Среди анализаторных систем головного мозга, имеющих непосредственное отношение к регуляции движений, более зрелой и готовой к функционированию является система кожного и двигательного анализаторов. Раннее созревание этих систем позволяет наблюдать и вызывать у новорожденных целый комплекс общих и локальных двигательных реакций, обеспечивающих функции питания, защиты и т.д. Однако эти произвольные движения не имеют постоянной картины и связаны со значительным мышеч-

ным тонусом, который, по-видимому, обусловлен повышенной синхронизированной активностью двигательных единиц.

В первые 3—4 мес жизни ребенка постепенно усиливается участие коры больших полушарий в регуляции движений. Идет созревание мозжечка, полосатого тела и других структур мозга, что способствует снижению общего тонического напряжения мышц, установлению баланса активности мышц верхних конечностей и увеличению амплитуды движений рук.

Первые условные рефлексы (пассивное разгибание ножки ребенка в коленном суставе) появляются на 3—4-й неделе жизни. Эти рефлексы также приобретают относительное постоянство к 3—4-му месяцу жизни.

Во втором полугодии жизни продолжается созревание всех структур системы регуляции движений.

Структурное созревание коры больших полушарий и интракортикальных путей в постнатальный период создает широкие возможности для установления межанализаторных отношений и участия многих отделов головного мозга в регуляции движений. Такие взаимосвязи расширяются благодаря развитию ассоциативных путей, которые после рождения ребенка догоняют и перегоняют по интенсивности роста проекционные и другие системы и становятся мощной морфологической основой интегративной деятельности головного мозга.

По мере развития все большее значение в процессах формирования сложных реакций, обеспечивающих адекватность взаимодействия организма с окружающим миром, приобретают центральные отделы двигательной системы. Электрофизиологические исследования показывают, что нейроны сенсомоторной области коры начинают проявлять способность к межсенсорной конвергенции уже на ранней стадии постнатального онтогенеза.

Во втором полугодии жизни ребенка межанализаторные функциональные связи становятся более упорядоченными и эффективными.

В этот период появляются направленные движения руки к определенному предмету, его захват и удержание. Повышается число движений, когда кисть руки раскрывается до захватывания предмета. Идет перестройка петлеобразных хватательных движений с частыми промахами и превращение их в движения с «прямым плановым» приближением к предмету. С 10-го месяца жизни наблюдается предварительное приспособление пальцев руки к форме объекта, который ребенок намеревается схватить, т.е. отмечаются элементы специфической готовности к движению, а значит формируется «замысел действия». В этот же период отмечаются хватательные движения вслепую за счет предварительного нацеливания на предмет. Возникновение в течение второго полугодия жизни подобных усложненных форм двигательной активности,

по-видимому, свидетельствует о начальных этапах становления способности центральной нервной системы к программированию движения.

В этом же возрасте (7—10 мес) обнаруживается способность детей совершать (при их пассивной поддержке под руки) попеременные шагательные движения по движущемуся тредбану. Структура этих движений, включая закономерности изменений суставных углов, межконечностную и межсуставную координацию, сравнительно совершенна. Это может быть свидетельством того, что механизм шагания формируется, но не может быть реализован вследствие незрелости механизмов поддержания равновесия в вертикальном положении (не созрели механизмы регуляции позы) и недостаточной мышечной силы для перемещения ног.

Фактически в течение второго полугодия происходит постепенное включение в систему регуляции движений всех компонентов структуры от ассоциативных зон коры до мотонейронов спинного мозга. Это обеспечивает совершенствование движений рук, ног, туловища ребенка, однако практически все движения еще не очень точны, так как не сформирован баланс мышц-антагонистов, несовершенна нервно-мышечная регуляция, недостаточно сформированы механизмы поддержания позы.

Именно с этого возраста начинается активное формирование нового типа движений — произвольных, целенаправленных.

Изменение роли отдельных структур системы регуляции движений в процессе возрастного развития отчетливо видно на примере формирования сложных произвольных движений, таких как ходьба и письмо. На первый взгляд эти движения совершенно различны и формируются в разном возрасте, но этапы их развития, специфика и совершенствование структуры самих движений очень сходны.

Ребенок начинает ходить в возрасте 9—15 мес. Однако вплоть до 4 лет формируется временная структура акта ходьбы. К 4 годам сформированной оказывается лишь структура каждого отдельного шага, а система шагов, т. е. структура серии движений при ходьбе, еще не сформирована, движения неритмичны, нестабильны, вариативны. Фактически еще не сложилась программа серии движений, каждый шаг корригируется по ходу деятельности.

Следующий этап формирования ходьбы — 4—7 лет. В этом возрасте заметно расширяются связи двигательной области головного мозга с одним из важных центров регуляции движений — мозжечком и подкорковыми образованиями, в частности с красным ядром, т. е. созревают механизмы регуляции позы и механизмы реализации последовательности серийных движений. К 7 годам корковый отдел двигательного анализатора обретает морфологические признаки, свойственные взрослым. Достигает значитель-

ной зрелости и рецепторный аппарат двигательной системы, а значит, становится возможной более тонкая регуляция мышечной активности, мышечных напряжений.

В этом же возрасте продолжается совершенствование серии отдельных шагов при ходьбе, но они нестабильны, вариативны, еще отсутствует зависимость между темпом ходьбы и длиной шага.

Новым этапом в формировании акта ходьбы является возраст 9—10 лет. В этом возрасте показатели структуры шага и ходьбы близки к показателям взрослых. Темп ходьбы равномерный, длина шага стабильна, ускорение темпа связано с удлинением шага. В этом возрасте структура регуляции движений устойчива к влиянию дополнительных нагрузок и различных «шумов», мешающих реализации этого движения. Значит, мы можем говорить о том, что при выполнении движения реализуются все функции системы регуляции:

принятие решения
I
выбор двигательной программы
I
достижение «полезного результата»
или решение «задачи действия».

Таким образом, только к 10 годам реализация движения (ходьбы) обеспечивается включенностью и взаимодействием всех звеньев системы регуляции движения, а формирование этого движения идет почти 10 лет.

Графические движения проходят те же этапы формирования, что и ходьба: в 1—1,5 года — это нестабильные, плохо регулируемые движения, от 2 до 4 лет формируется структура графических движений, к 5 годам сформированы основные компоненты графических движений — вертикальные и горизонтальные линии, овалы, круги, но они еще нестабильны, плохо регулируются их размерность, соотношение элементов, еще недостаточно четки линии, много дополнительных штрихов, которые свидетельствуют о корректировке по ходу движения, а значит, о том, что программа движения еще не сформирована.

В 6—7 лет начинается собственно формирование навыка письма, а все графические движения и действия, которые ребенок освоил до этого возраста, служат базисом для их развития.

Основные характеристики письма у детей этого возраста: нестабильность, неровность, нечеткость штрихов, сильное мышечное напряжение (часты жалобы детей — «болит рука», «устала рука»), несовершенны механизмы регуляции позы (ребенок очень быстро нарушает правильную позу при письме), фактически каждое движение в серии выполняется отдельно, нет плавности и связности движений. Это тот этап, когда ребенок еще не может

произвольно менять скорость письма, сохраняя качество (движения могут быть медленными и правильными или быстрыми, но неправильными). Все это свидетельствует о том, что моторная программа еще только формируется и необходима постоянная коррекция и оценка по ходу движения. Так же как и при формировании акта ходьбы, в 9—10 лет при письме существенно изменяются центральные механизмы регуляции движений.

На этом этапе уже сформирована и совершенствуется моторная программа, резко сокращается пауза между отдельными двигательными актами, движения становятся четкими, стабильными, менее напряженными, ребенок способен произвольно регулировать основные параметры движения, варьировать темп, скорость, качество серии движений, т.е. показатели временной структуры письма близки к показателям взрослых.

Одним из факторов совершенствования центральных механизмов регуляции движений к 9—10 годам, по-видимому, является созревание лобных зон коры, которым отводится роль принятия решения и выбора программы действия.

Нельзя не отметить, что в период с 11—12 до 14—15 лет ухудшается синхронность движений в суставах, повышается мышечное напряжение, замедляется развитие функций управления пространственно-временными параметрами точностных действий и снижаются резервные возможности совершенствования движений под влиянием упражнения. Все это, по-видимому, связано с существенным изменением механизмов центральной регуляции движений, ослаблением роли регуляторных влияний лобной коры в период полового созревания.

Интересно, что, по данным нейрофизиологических исследований, регрессивные изменения активности коры, повышение активности подкорковых структур, менее дифференцированное вовлечение структур неокортекса в процессы организации деятельности характерны для подростков на II и III стадиях полового созревания. Это свидетельствует об определенных регрессивных изменениях ряда функций центральной нервной системы в период полового созревания, затрагивающих не только сенсорные процессы восприятия, организации внимания, но и центрально-эффекторные механизмы регуляции моторикой, и процессы организации двигательной деятельности.

Но уже после 14—15 лет эти явления становятся менее заметными и исчезают, совершенствуется регуляция сложнокоординированных движений, усиливается их интеграция и в то же время автономность, возрастают точность управления пространственными параметрами движений, улучшается качество выполнения двигательных действий при разных скоростных режимах, вновь повышается чувствительность двигательных функций к тренировочным воздействиям.

Таким образом, возрастное развитие движений — это путь от недифференцированных, нестабильных, напряженных отдельных движений, очень зависящих от влияния различных факторов (внешних — условий выполнения и внутренних — состояния организма), к более дифференцированным и интегрированным в серии, плавным, точным, стабильным и менее зависимым от влияния различных факторов.

Вопросы и задания

1. Какие движения называются произвольными, произвольными? В чем их различие?
2. Какие основные структуры включены в систему организации и регуляции движения? Нарисуйте схему, покажите пути нервных импульсов от коры к мышцам.
3. Что означает соматотопический принцип организации двигательных зон коры? Какая часть тела в двигательной коре наиболее широко представлена? Как вы думаете, почему?
4. Каковы функции двигательной коры в организации и регуляции движений?
5. Каковы функции базальных ганглиев в организации и регуляции движений?
6. Каковы функции мозжечка в организации и регуляции движений?
7. Выделите функции ствола мозга в организации и регуляции движений.
8. Выделите функции спинного мозга в организации и регуляции движений.
9. Назовите методы изучения организации и регуляции движений. Какой уровень регуляции движений позволяет изучать каждый из перечисленных методов?
10. Опишите возрастные изменения в структуре организации и регуляции движений. Как изменяются при этом характер движений, их качество и эффективность?

Глава 16. ВЕГЕТАТИВНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА И РЕГУЛЯЦИЯ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ ОРГАНИЗМА

Особенности вегетативной нервной системы. Вегетативная нервная система осуществляет нервную регуляцию внутренней среды организма. Ее главная функция — сохранение гомеостаза (постоянства внутренней среды) при различных воздействиях на организм. Ее основное отличие от соматической нервной системы в том, что она не подвержена произвольной регуляции со стороны

высших отделов центральной нервной системы, поэтому ее часто называют *автономной*.

Вегетативная нервная система иннервирует гладкую мускулатуру внутренних органов, кровеносных сосудов и кожи, мышцу сердца и железы. Вегетативные волокна подходят и к скелетным мышцам, но они при возбуждении не вызывают сокращения мышц, а повышают в них обмен веществ и тем самым стимулируют их работоспособность, так раздражение симпатических нервов утомленной скелетной мышцы восстанавливает ее работоспособность.

Структурно-функциональная организация вегетативной нервной системы. Периферический отдел вегетативной нервной системы имеет ряд существенных отличий от соматической нервной системы, иннервирующей скелетные мышцы, кожу, сухожилия, суставы. Он осуществляет исключительно эфферентную функцию, передающую сигналы из центральных отделов вегетативной нервной системы к эффекторным органам. Основное анатомическое отличие от соматической нервной системы заключается в том, что путь от центра до иннервируемого органа в вегетативной нервной системе состоит из двух нейронов. Это типичный признак вегетативной нервной системы. Волокна вегетативной нервной системы выходят из ядерных образований ЦНС и обязательно прерываются в периферических вегетативных нервных узлах — ганглиях, образуя синапсы на нейронах, расположенных в этих ганглиях. Эти волокна называются *преганглионарными* или *предузловыми*. Отростки клеток, образующих периферические вегетативные ганглии, направляются к внутренним органам; это *постганглионарные*, или *послеузловые*, волокна.

Периферическая вегетативная нервная система состоит из двух анатомических и функционально различающихся отделов: симпатического и парасимпатического (рис. 69). *Симпатические нервные волокна* начинаются в боковых рогах грудного и поясничного отделов спинного мозга, их ганглии расположены по обе стороны позвоночника и соединены в симпатические стволы. Нервы симпатической системы регулируют деятельность гладких мышц сосудов, пищеварительной и выделительной систем, легких, сердца, желудка и ряда желез (слюнных, потовых, пищеварительных).

Парасимпатические волокна идут от ствола головного мозга и крестцового отдела спинного мозга. Вне иннервируемых органов расположены только ганглии — вблизи головы и тазовых органов, остальные парасимпатические нейроны находятся на поверхности или внутри иннервируемых органов. Парасимпатическая система иннервирует гладкие мышцы и железы желудочно-кишечного тракта, легкие, органы выделительной и половой систем, слезные и слюнные железы.

Влияние симпатической и парасимпатической систем на деятельность эффекторных органов. Большинство внутренних орга-

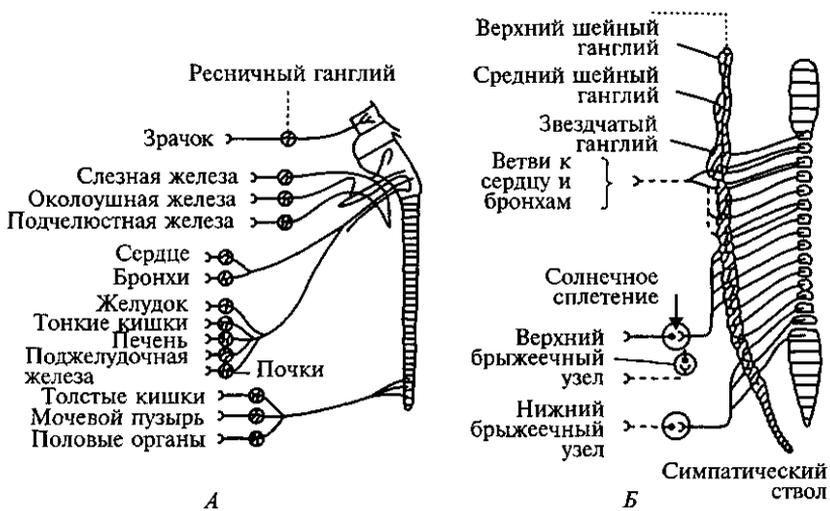


Рис. 69. Схема вегетативной нервной системы
 А — парасимпатический отдел; Б — симпатический отдел

нов обладают двойной иннервацией: к каждому из них подходят два нерва — *симпатический* и *парасимпатический*. На многие органы симпатический и парасимпатический нервы оказывают противоположное влияние. Так, симпатический нерв ускоряет и усиливает работу сердца, а парасимпатический (блуждающий) тормозит; парасимпатический нерв вызывает сокращение кольцевой мускулатуры радужной оболочки глаза и в связи с этим сужение зрачка, а симпатический нерв вызывает расширение зрачка (сокращение радиальной мускулатуры радужной оболочки).

Вместе с тем их влияние на деятельность целостного организма таково, что они могут выступать как *функциональные синергисты*, т.е. давать однозначный эффект. Так, в случае повышения кровяного давления возвращение его к исходному уровню может быть достигнуто как снижением активности симпатической системы, так и увеличением активности парасимпатической. Некоторые органы снабжаются волокнами только парасимпатической системы (слюнные железы, железы носоглотки, сфинктер зрачка) или симпатической (почти все кровеносные сосуды, печень, жировые клетки, половые органы, секреторные клетки поджелудочной железы). Во многих органах, иннервируемых как симпатической, так и парасимпатической системами в условии адаптированного состояния, в покое преобладают влияния парасимпатической системы.

Симпатическая часть вегетативной нервной системы способствует интенсивной деятельности организма, особенно в экстремальных условиях, когда нужно напряжение всех его сил. Пара-

симпатическая часть вегетативной нервной системы способствует восстановлению истраченных организмом ресурсов. Симпатическая нервная система оказывает существенные влияния на метаболические процессы, усиливая гликогенез в печени и липому в жировых клетках, что приводит к увеличению в организме концентрации глюкозы и жирных кислот.

Центральные отделы вегетативной нервной системы. Определенную роль в вегетативной регуляции играет *спинной мозг*. С его деятельностью связывается поддержание тонуса сосудов и некоторых вегетативных рефлексов, например напряжение мускулатуры и покраснение кожи в области локализации патологического процесса во внутренних органах. Эти рефлексы являются важным диагностическим показателем в клинике аппендицита или холецистита. Важнейшая роль в регуляции вегетативных функций принадлежит определенным структурам головного мозга. На уровне ствола мозга расположены нервные центры, без которых невозможно осуществление жизненно важных функций. Это центры дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Регуляция деятельности этих систем опосредуется группами нервных клеток, которые под влиянием приходящей афферентации из внутренних органов или изменения химического состава крови (содержание кислорода и углекислого газа) оказывают возбуждающее или тормозящее влияние на симпатические или парасимпатические рефлексы спинного мозга, прежде всего — на сосуды и сердце.

Гипоталамус — высший центр регуляции вегетативной нервной системы. Его роль определяется интеграцией вегетативных, соматических и гормональных механизмов. Гипоталамус через вегетативную систему управляет всеми гомеостатическими процессами, поддерживая постоянство внутренней среды при различных отклонениях во внешней и внутренней среде. Гипоталамус, регулируя сосудистую систему, обеспечивает постоянство температуры тела, водно-солевой обмен, управляет сердечной деятельностью, при усиленной мышечной работе обеспечивает поддержание кровяного давления в относительно постоянном диапазоне. Являясь частью лимбической системы мозга (см. предыдущую главу), гипоталамус обеспечивает тесную связь механизмов, лежащих в основе реализации эмоционально-потребностной сферы и познавательных процессов с системой метаболического обеспечения деятельности мозга и организма в целом. Это является важнейшей основой адаптивного приспособления к внешним воздействиям при сохранении постоянства внутренней среды. С другой стороны, теснейшие двухсторонние связи одного из отделов гипоталамуса — *медиального гипоталамуса* — с гипофизом дало основание говорить о единой *гипоталамо-гипофизарной системе*. В этой системе большую роль играют нейроны гипофизотропной зоны медиального гипоталамуса, которые оказывают стимулирующие или

тормозные влияния на гипофиз. В свою очередь активность этих нейронов регулируется содержанием в крови гормонов периферических эндокринных желез.

Таким образом, обеспечивается объединение нервной и эндокринной систем в единую систему регуляции целостной деятельности организма при сохранении постоянства его внутренней среды.

Возрастная динамика вегетативной нервной системы. Как система, обеспечивающая осуществление жизненно важных функций, вегетативная нервная система созревает на ранних этапах развития. Однако к моменту рождения влияния симпатической и парасимпатической систем еще недостаточно сбалансированы, повышенная активность симпатической системы определяет более частый пульс новорожденных. В процессе развития ребенка усиливаются влияния высших отделов ЦНС, соответственно совершенствуется приспособительный регулирующий характер воздействия вегетативной нервной системы на деятельность внутренних органов.

Вопросы и задания

1. В чем состоят особенности структурно-функциональной организации вегетативной системы?
2. Охарактеризуйте особенности влияния симпатической и парасимпатической нервных систем.
3. Какие отделы центральной нервной системы являются ее регуляторными центрами?
4. В чем состоит особая роль гипоталамуса как высшего центра регуляции внутренней среды организма?
5. Опишите возрастную динамику вегетативной нервной системы.

Глава 17. ГУМОРАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА

Жизнь как процесс химических превращений в водной среде

Жизнь на Земле зародилась в океане — это теперь общепризнанно. Мировой океан миллиарды лет назад — в то время, когда формировались первые живые клетки, — был менее соленым, чем теперь, и имел слабощелочную реакцию. Межклеточная жидкость и кровь всех существующих сегодня многоклеточных существ несут в себе свойства древнего океана: слабощелочную реакцию и сравнительно низкую концентрацию солей щелочных металлов — хлоридов, карбонатов и сульфатов натрия, калия и кальция. Клетка обособилась от океана тогда, когда внутри нее (благодаря специ-

альному устройству клеточной мембраны) удалось поддерживать необычайно высокую концентрацию ионов калия. Это свойство сохраняют все без исключения потомки тех первобытных клеток, что зародились на заре эволюции жизни.

Вода составляет от 70 до 95 % массы большинства животных клеток. Клетка — это биохимический реактор, а цитоплазма — это, по сути, водный раствор, в котором и происходят все те химические превращения, которые мы называем «жизнь». Здесь зарождаются и прекращают свое существование белки и другие макромолекулы, здесь организованы транспортные потоки субстратов (веществ, необходимых для биохимических реакций), ферментов (биохимических катализаторов) и энергоносителей (макроэргических соединений типа АТФ). Все эти сложнейшие процессы происходят отнюдь не хаотично: здоровая клетка работает «как часы», точно и без перебоев, потому что все процессы, происходящие в ней, находятся непрерывно под контролем со стороны клеточного ядра, а также со стороны высших центров управления организмом.

Способы передачи управляющей информации в многоклеточном организме

За миллиарды лет эволюции природа смогла изобрести всего лишь два способа передачи управляющего воздействия: гуморальный и нервный. Гуморальные (от лат. слова *humor* — жидкость) влияния в многоклеточном организме передаются со скоростью продвижения крови по сосудам или со скоростью диффузии иформационных молекул в межклеточной жидкости. Нервные — со скоростью прохождения электрического импульса по мембране нервного волокна. Ясно, что второй вариант гораздо более быстрый и значительно более «прицельный» — это и стало причиной его широкого распространения у всех животных, находящихся на высших ступенях эволюционного развития.

Преимущества нервного способа передачи информации в многоклеточном организме неоспоримы, но есть в этом способе и существенные недостатки. Нервный (электрический) импульс приводит к кратковременному изменению поляризации мембраны той клетки, на которую нацелено его воздействие. Сразу после прохождения сигнала начинаются биохимические процессы, обеспечивающие реполяризацию мембраны, и клетка вновь приобретает вид и параметры, бывшие до воздействия, как будто ничего и не произошло. Поэтому, для того чтобы оказать на клетку длительное воздействие, нервные импульсы должны поступать один за другим. Это неминуемо приведет к утомлению нервных центров, которые эти импульсы генерируют. В итоге нервное управле-

ние начнет ослабевать независимо от того, удалось ли достичь требуемого результата.

Совершенно иная картина складывается при воздействии гуморального фактора. Информационный поток от желез внутренней секреции не направлен на конкретный орган, ткань или клетку: передаваемая гуморальным путем информация предназначена как бы «всем, всем, всем!». Другое дело, что далеко не все клетки способны эту информацию как-либо использовать. Для этого требуется, чтобы мембрана клетки имела специальные приспособления (рецепторы), делающие ее чувствительной именно к данному, конкретному виду химического вещества. Информационная молекула, достигнув клетки, которая имеет соответствующий рецептор, прикрепляется к ее мембране, изменяя свойства этой мембраны (например, ее проницаемость по отношению к тому или иному виду молекул), и остается там до тех пор, пока не будет достигнут ожидаемый результат. После этого специальные клеточные (или межклеточные, тканевые) механизмы (т.е. на самом деле — другие молекулы) разрушают информационную молекулу, тем самым прекращая ее воздействие. Таким образом, если управляющее влияние должно быть срочным и кратковременным — нервная система имеет безусловное преимущество как путь передачи управляющей информации. Если же воздействие предполагается продолжительным — преимущество оказывается на стороне гуморальной регуляции. Как правило, организм использует нервные и гуморальные способы передачи управляющих сигналов параллельно в различных сочетаниях, которые зависят от конкретных условий и решаемой задачи.

Типы биологически активных веществ (БАВ)

Среди многих миллионов видов молекул, составляющих биохимическую среду организма, имеются многие тысячи, выполняющие информационную роль. Даже если не рассматривать те вещества, которые организм выделяет в окружающую среду, сообщая о себе другим живым существам: соплеменникам, врагам и жертвам, — огромное разнообразие молекул может быть отнесено к различным классам биологически активных веществ (сокращенно — БАВ), циркулирующих в жидких средах организма и передающих ту или иную информацию от центра к периферии, от одной клетки к другой, либо от периферии к центру. Несмотря на разнообразие состава и химического строения, все эти молекулы так или иначе влияют непосредственно на обменные процессы, осуществляемые конкретными клетками организма.

Наиболее важными для физиологической регуляции БАВ являются медиаторы, гормоны, ферменты и витамины.

Медиаторы — это вещества небелковой природы, имеющие сравнительно простое строение и небольшой молекулярный вес. Они выделяются окончаниями нервных клеток под влиянием поступившего туда очередного нервного импульса (из специальных пузырьков, в которых они скапливаются в промежутках между нервными импульсами). Деполяризация мембраны нервного волокна приводит к разрыву созревшего пузырька, и капли медиатора поступают в синаптическую щель. Синапс — это место соединения двух нервных волокон или нервного волокна с клеткой другой ткани. Хотя по нервному волокну сигнал передается в электрическом виде, в отличие от обычных металлических проводов нервные волокна нельзя просто механически между собой соединить: импульс таким образом передаваться не может, поскольку оболочка нервного волокна не проводник, а изолятор. В этом смысле нервное волокно больше похоже не на провод, а на кабель, окруженный слоем электроизолятора. Вот почему нужен химический посредник. Эту роль как раз и выполняет молекула медиатора. Оказавшись в синаптической щели, медиатор воздействует на постсинаптическую мембрану, приводя к местному изменению ее поляризации, и таким образом зарождается электрический импульс в той клетке, на которую нужно передать возбуждение. Чаще всего в организме человека в качестве медиаторов выступают молекулы *ацетилхолина, адреналина, норадреналина, дофамина* и *гамма-аминомасляной кислоты* (ГАМК). Как только действие медиатора на постсинаптическую мембрану завершилось, молекула медиатора разрушается с помощью специальных ферментов, постоянно присутствующих в этом месте соединения клеток, — таким образом предотвращается перевозбуждение постсинаптической мембраны и соответственно клеток, на которые оказывается информационное воздействие. Именно по этой причине один импульс, дошедший до пресинаптической мембраны, порождает единственный импульс в постсинаптической мембране. Истощение запасов медиатора в пресинаптической мембране может иногда служить причиной нарушения проведения нервного импульса.

Гормоны — высокомолекулярные вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции для управления активностью других органов и систем организма.

По своему химическому составу гормоны могут относиться к различным классам органических соединений, существенно различающихся по размеру молекул (табл. 13). Химический состав гормона определяет механизм его взаимодействия с клетками-мишенями.

Гормоны могут быть двух типов — прямого действия либо тропные. Первые непосредственно воздействуют на соматические клетки, изменяя их метаболическое состояние и заставляя их менять свою функциональную активность. Вторые предназначены для

воздействия на другие железы внутренней секреции, в которых под влиянием тропных гормонов ускоряется либо замедляется выработка собственных гормонов, которые обычно действуют уже непосредственно на соматические клетки.

Т а б л и ц а 13

Масса молекул различных гормонов

Класс органических соединений	Молекулярная масса, углеродные у. е.	Гормоны
Катехоламины Тиреоиды Стероиды	150-200 300-700 1000-5000	Норадреналин, адреналин Тироксин, трийодтиронин Тестостерон, эстрогены, прогестерон, кортикостероиды
Пептиды	10000-30000	Гормоны гипоталамуса, ангиотензин, гастрин, секретин, глюкагон, кальцитонин, инсулин, паратгормон
Высокомолекулярные белки	>50000	Гормон роста, пролактин, лютеинизирующий гормон, фолликулостимулирующий гормон, тиреотропный гормон

Ферменты — вещества, от которых непосредственно зависит скорость биохимических реакций как внутри клеток, так и в полостях тела, в частности в желудочно-кишечном тракте. Большинство ферментов имеют белковую природу, т.е. построены из множества аминокислотных мономеров и различаются первичной, вторичной и третичной структурой. Первичная структура белка — это последовательность аминокислот в полимерной цепочке. Вторичная структура — это ветвление полимерной цепочки. Третичная структура — эта конформация молекулы в пространстве. Будучи весьма крупной молекулой с огромным молекулярным весом, белковая молекула занимает в пространстве определенный объем, причем отдельные ветви этой макромолекулы могут быть причудливо переплетены и для жесткости соединены между собой с помощью так называемых «водородных мостиков». Эти связи не очень прочные: они могут изменяться — разрушаться и создаваться вновь — под влиянием многих условий, в том числе рН, концентрации определенных солей и т.п. Изменения конформации этих связей ведет к изменению механических свойств молекулы белка, и нередко это используется в биохимических процес-

сах для осуществления конкретных функций, для которых данная белковая молекула предназначена. В частности, каталитические свойства ферментов нередко состоят в том, что они, используя особенности своей третичной структуры, осуществляют механическое соединение двух молекул субстрата, что и приводит к осуществлению нужной для клетки биохимической реакции.

Витамины — вещества, содержащие, как правило, аминокислоты (отсюда их название) и непосредственно влияющие на множество метаболических процессов. Большая часть витаминов выполняет в клетках роль коферментов.

Перечисленные типы БАВ, синтезируемых в организме, отнюдь не исчерпывают всего их разнообразия. В последние десятилетия открыты многие новые классы молекул, обладающих высокой биологической активностью и принимающих участие в регуляции не только физиологических функций, но и поведения человека. К ним, в частности, относятся эндорфины — вещества, по своей химической структуре похожие на морфий, вырабатываемые некоторыми клетками мозга и выполняющие функцию «внутреннего наркотика» для создания ощущения радости и удовлетворенности (эйфории) при разных психических переживаниях и активной деятельности. Так, например, считается, что спортивная деятельность способствует выработке эндорфинов и этим оказывается особенно привлекательна для многих людей. Есть также данные об участии эндорфинов в формировании ощущений полового удовлетворения.

Огромный класс веществ, открытый среди секретов желез внешней секреции, — феромоны — обладают сильным ароматом и привлекают или отпугивают других особей. У некоторых насекомых чувствительность к феромонам столь велика, что самец способен «уcatchать» самку на расстоянии нескольких километров. Однако и у позвоночных животных, и у человека феромоны играют немаловажную роль в межличностном общении, в том числе в половом поведении.

Кроме того, многие органы нашего тела, не будучи «истинными» органами внутренней секреции, имеют в своем составе железистые клетки, вырабатывающие небольшое количество гормонов, иногда играющих важную роль в изменении самочувствия. Такие гормоны вырабатываются в почках, желудке и даже в сердце, а также в ряде других органов.

Следует также отметить, что далеко не все вещества, имеющие выраженную биологическую активность, вырабатываются клетками нашего собственного организма. Говоря о витаминах, мы уже упоминали об экзогенных БАВ и подчеркивали важность их достаточного поступления с пищей. Однако не только пищевые продукты содержат экзогенные (т.е. попадающие в организм извне) БАВ. Небезразличны для организма многие токсины, в том

числе выхлопные газы современного автотранспорта. Все лекарства, используемые в классической, народной или любой другой медицине, обязательно содержат БАВ, иначе они бы не оказывали на организм вовсе никакого действия. На том же основании к БАВ следует отнести алкоголь, никотин и наркотические вещества. Кстати, алкоголь и никотин — естественные продукты метаболизма — непрерывно синтезируются в организме человека, хотя и в очень малых количествах, которое не оказывает негативного воздействия на функции.

Информационные потоки БАВ

Для того чтобы выполнить свою информационную роль, БАВ должно быть доставлено от места своего синтеза до места своего действия. В случае с медиаторами и ферментами эти места обычно разделены промежутками в несколько микрон, тогда как гормоны должны преодолевать порой значительные расстояния, иногда измеряемые метрами (особенно у крупных животных), прежде чем они окажутся в зоне своего действия. В большинстве случаев протоки желез, синтезирующих гормоны, а именно гормоны и составляют большую часть информационных БАВ дистантного действия, открываются в кровяное русло. С током крови молекулы гормонов разносятся по всему телу, но действие оказывают лишь на те клетки, которые для этого предназначены.

Гормоны гипофиза в большинстве случаев являются тропными и их действие направлено на ткань других желез внутренней секреции. Гормоны щитовидной железы, надпочечников и других желез доставляются с током крови к тем органам, на которые они должны оказать свое действие.

Существует еще один класс БАВ, вырабатываемых нежелезистыми клетками большинства органов. Иногда их называют тканевыми гормонами, хотя в отличие от настоящих гормонов они выделяются не в кровяное русло, а в межклеточную жидкость. Эти БАВ передают соседним клеткам и тканям информацию о состоянии тех клеток, где они синтезированы. Такой взаимный обмен информацией между клетками и тканями позволяет им согласовывать метаболическую активность и поддерживать гомеостатическое единство организма.

Соотношение межклеточных и внутриклеточных информационных потоков

Межклеточные, в том числе межорганные взаимодействия осуществляются путем воздействия вырабатываемых одними клетками БАВ на мембраны или на генетический аппарат других кле-

ток. При этом меняется состояние клетки-реципиента — и это является пусковым механизмом для включения целой цепи внутриклеточных метаболических превращений. В ответ на такое воздействие внутри клетки вырабатываются собственные информационные молекулы, которые тормозят или ускоряют определенные циклы биохимических реакций, иногда — непосредственно, иногда — воздействуя на клеточное ядро, которое управляет синтезом ферментов и регулирует активность генов. По-видимому, внутриклеточные информационные системы эволюционно наиболее древние. С этим связана их сравнительно низкая специфичность и избирательность. Исследования внутриклеточных информационных систем — очень молодое направление биохимических и биофизических исследований, но уже полученные результаты свидетельствуют о тонкой организации внутриклеточного информационного пространства. В частности, показано, что благодаря активности внутриклеточных информационных БАВ клетка, получив информацию о неблагоприятных изменениях внешней среды (например, о резком изменении давления или концентрации солей в окружающей среде и т.п.), становится на некоторое время нечувствительной к дальнейшим влияниям извне — так, в полном соответствии с принципом Ле-Шателье, осуществляется ее защитная реакция, обеспечивающая возможность пережить неблагоприятную ситуацию в ожидании грядущих изменений к лучшему. Если же ситуация в окружающей клетку среде не выходит за рамки обычной, то внутриклеточные регуляторы обеспечивают тонкую подстройку метаболизма в соответствии с теми новыми требованиями, которые предъявляет внешняя среда.

Способы воздействия БАВ на клетки и ткани организма

Различные БАВ по-разному воздействуют на клетки и ткани организма, причем это во многом зависит от химической природы их молекул. Гормоны из группы тиреоидов, например, легко проникают через клеточную мембрану и направляются непосредственно в клеточное ядро, где включаются в регуляцию активности генов. Стероидные гормоны также проникают внутрь клетки, но не самостоятельно, а благодаря взаимодействию с мембранными рецепторами, которые позволяют этим жироподобным веществам проникнуть через липопротеиновые слои клеточной мембраны. Катехоламины внутрь клетки не проникают, а химически связываются с мембранными рецепторами, и механизм их действия обусловлен сложными процессами, рассмотренными выше при описании воздействия адреналина на клетки печени. Многие гормоны представляют собой очень крупные пептидные и белко-

вые молекулы, которые не могут проникнуть внутрь клетки. Они прикрепляются к клеточным мембранам, изменяя их проницаемость и другие свойства, и таким образом влияют на внутриклеточный метаболизм.

Витамины в большинстве случаев представляют собой молекулы небольшого размера, которые успешно проникают через клеточную оболочку и непосредственно встраиваются во внутриклеточные биохимические процессы. Ферменты, циркулирующие в крови или выделяемые в межклеточную жидкость, как правило, там и оказывают свое каталитическое действие — они, как и многие другие гормоны, не способны проникать внутрь клеток. Вообще клеточная мембрана обладает избирательной проницаемостью, вход для крупных молекул внутрь клетки затруднен либо вовсе исключен. Поэтому БАВ, имеющие крупные молекулярные размеры, прикрепляются к внешней поверхности мембран и тем самым оказывают воздействие на клетку. Другие БАВ, молекулы которых способны проникать в клетку, могут принимать участие в биохимических процессах, идущих внутри клетки, и непосредственно влиять на скорость их протекания или направление, например, за счет активации побочных циклов реакций или за счет изменения активности тех или иных участков генома.

Судьба молекул БАВ в организме

Поскольку все БАВ — органические молекулы, каждая из них имеет определенный срок жизни, после которого она должна быть утилизирована. Речь не идет о том, что кто-то в организме специально отслеживает возраст каждой молекулы и отдает распоряжение: все, срок вышел — под нож! Разумеется, это процесс стохастический (случайный) и статистический (вероятностный). Однако в итоге получается, что все крупные информационные макромолекулы существуют от нескольких минут до нескольких часов, молекулы промежуточного размера могут сохранять свою целостность в течение суток, а мелкие молекулы сохраняются иногда несколько суток. Это справедливо не только для молекул БАВ, такова судьба всех молекул, из которых состоит живое вещество: наш организм постоянно обновляется, в нем непрерывно идут процессы синтеза (анаболизма) одних молекул и распада (катаболизма) других. Непрерывно обновляются также и все без исключения клетки нашего организма. До недавнего времени считалось, что нервные клетки не восстанавливаются, не регенерируют и не обновляются. В последние годы получены убедительные доказательства того, что это совсем не так: даже нервные клетки постоянно обновляются, не говоря уже обо всех остальных.

В этой связи судьба молекул БАВ в организме не кажется исключительной. Быстрее всего распадаются молекулы медиаторов, о чем уже говорилось выше. Продукты распада молекул БАВ могут включаться в дальнейшие метаболические превращения, иногда они сами обладают информационной значимостью, но могут и выводиться из организма — чаще всего с мочой. Также с мочой выводятся иногда и некоторые некрупные молекулы БАВ, концентрация которых в крови оказывается повышенной. По этой причине для определения уровня некоторых гормонов в организме нередко исследуют не только кровь, но и мочу. Некоторые гормоны способны проникать даже в слюну и так выделяться из организма. Это позволяет следить за их содержанием по результатам биохимического анализа слюны.

Понятие о клетках (органах)-мишенях

Гормональная регуляция физиологических процессов была бы невозможной, если бы выработанные эндокринными железами гормоны одинаково воздействовали на все ткани, с которыми соприкасается содержащая их кровь. Поэтому в ходе миллионов лет эволюции выработались специальные приспособления, обеспечивающие «прицельность» попадания гормонов именно на те клетки, состояние которых они призваны регулировать. Эти клетки и состоящие из них органы называют «мишенями», поскольку именно на их поверхности должны прикрепляться молекулы гормонов. Для этого на мембранах клеток-мишеней формируются специальные активные места (рецепторы), механически и химически приспособленные к тому, чтобы прочно соединиться с молекулой гормона и удерживать ее до тех пор, пока в этом будет нужда. Если такие рецепторы не сформированы, то гормон не может прикрепиться к мембране и никакого действия на метаболизм клетки оказать не в состоянии. Таким образом, гормональная регуляция функций требует активного участия в этом процессе с обеих сторон железа и должна вырабатывать необходимое количество молекул гормона, а ткань должна подготовиться к тому, чтобы эти молекулы принять. Формирование рецепторов для прикрепления гормонов происходит под управлением генетического аппарата клетки. Сам по себе этот аппарат также может менять свою работу под влиянием других гормонов. В результате получается, что гуморальная регуляция функций — это сложнейший процесс, в организацию которого включены самые разнообразные химические, механические, генетические и молекулярные механизмы.

Активность продукции гормонов и чувствительность к ним органов-мишеней

Скорость образования гормонов зависит от влияния других желез внутренней секреции и нервных центров, управляющих соответствующей железой. Кроме того, по мере возрастного развития скорость секреции многих гормонов может меняться в соответствии с разворачиванием генетической программы. Например, гормон роста вырабатывается гипофизом в разных количествах на разных этапах онтогенеза. Наибольшее количество гормона роста наблюдается у детей в период интенсивного роста костей.

Следует отметить, что одни гормоны являются как бы стратегическими, т.е. их продукция меняется достаточно плавно и по долгу (многие часы или даже дни) остается на одном уровне. Такие гормоны определяют уровень метаболических процессов в долгосрочном плане. К таким гормонам относятся упомянутый гормон роста, а также тироксин (гормон щитовидной железы, влияющий на интенсивность энергетического обмена), паратгормон (гормон паращитовидных желез, от которого зависит утилизация кальция костной тканью), половые гормоны и многие другие. Но есть и другой тип гормонов — их можно назвать адаптивными, или гормонами быстрого реагирования. Их выброс в кровь происходит вследствие резкого изменения ситуации, в течение нескольких минут или даже секунд. Примером такого гормона может служить адреналин — гормон мозгового вещества надпочечников (это же вещество является медиатором проведения нервного импульса). Адреналин широко распространен в симпатических нервных волокнах. Он резко активизирует работу сердца, дыхания, интенсивность энергетического обмена, а также сосудодвигательные реакции.

Недостаток или избыток многих гормонов приводит к возникновению ряда весьма тяжелых и трудно поддающихся лечению заболеваний.

Наряду с изменением скорости продукции того или иного гормона, в организме может меняться и способность той или иной ткани к взаимодействию с данным гормоном, т.е. чувствительность органов-мишеней. Чем большее количество активных мест для прикрепления молекул гормона образуется на мембранах клеток-мишеней, тем выше чувствительность данной ткани к этому гормону. Известны случаи, когда уровень гормона в крови может быть и весьма высоким, однако из-за сниженной чувствительности к нему тканей органов-мишеней реальное физиологическое действие гормона почти не проявляется. Так, у детей 1-го года жизни довольно высок уровень половых гормонов, но клетки их половых желез еще не приспособлены к взаимодействию с моле-

кулами гормонов, поэтому процесс полового созревания в этом возрасте не происходит.

Железы внешней и внутренней секреции

В организме человека довольно много органов, вырабатывающих БАВ, которые в дальнейшем используются либо внутри организма, либо вне него. Органы, специально предназначенные для выработки БАВ, называются *железами*. Клетки железистой ткани группируются вокруг специальных протоков, куда собирается вырабатываемый ими *секрет*. Далее эти протоки могут открываться либо в кровеносное русло — тогда этот орган называется железой внутренней секреции; либо на поверхность кожи — тогда это железа внешней секреции; либо в одну из полостей тела или в желудочно-кишечный тракт (пищеварительные железы).

Железы внутренней секреции (эндокринные) участвуют в регуляции физиологических функций и гомеостаза, поскольку они влияют на метаболические процессы в органах-мишенях. Точкой приложения секретов этих желез (гормонов) являются клетки других тканей организма. К железам этого типа относятся надпочечники, гипофиз, поджелудочная железа, щитовидная и паращитовидные железы, тимус, половые железы и ряд других.

Железы внешней секреции (экзокринные) участвуют в регуляции межвидовых и внутривидовых взаимоотношений, поскольку их секрет призван информационно или метаболически воздействовать на внешние организмы. Точкой приложения секретов этих желез являются другие биологические объекты (особи того же или других видов живых существ). К железам этого типа относятся слюнные, потовые, слезные, половые железы и некоторые другие. Они создают видовой и индивидуальный запах тела. Кроме того, секреты этих желез обладают бактерицидным и микостатическим действием, предотвращая проникновение в организм болезнетворных микроорганизмов.

Железы, участвующие в обеспечении конкретных функций (пищеварения, дыхания и т.п.) имеют первоочередное значение для регуляции конкретных метаболических процессов, так как секреты этих желез непосредственно участвуют в осуществлении физиологических функций (в том числе биохимических превращений) в тех полостях, куда открываются их протоки. Точкой приложения их секретов являются поступившие извне в организм продукты, предназначенные для внутриорганизменной переработки (пища, газовая смесь и т.п.). Это слюнные железы, поджелудочная железа, печень, железы желудка и др.

Как можно заметить, одни и те же железы иногда упоминаются дважды, т.е. одновременно работают как железы внутренней

секреции и пищеварительные (поджелудочная), либо как железы внутренней и внешней секреции (половые). В этом проявляется полифункциональность органов, построенных из железистой ткани. Весьма наглядно это отражается в строении поджелудочной железы, которая состоит из явно различающихся между собой клеток двух типов. Один тип клеток осуществляет роль пищеварительной железы и вырабатывает секрет, богатый ферментами, способными переваривать белковую пищу, т.е. разрушать белковые макромолекулы. Другой тип клеток занят выработкой гормонов, необходимых для усвоения глюкозы всеми клетками тела. Эти железистые образования перемешаны в ткани поджелудочной железы, причем большую часть железы составляют клетки пищеварительной секреции, тогда как эндокринная секреция сосредоточена в так называемых «островках Лангерганса», как бы архипелагом разбросанных по океану основной ткани железы.

Два различных секрета вырабатывают и мужские половые железы. Один из них насыщен половыми гормонами и поступает в кровь, т.е. относится к эндокринной продукции. Другой необходим для обеспечения жизнедеятельности сперматозоидов и выбрасывается вместе с эякулятом при семяизвержении. Примеров подобного рода в организме довольно много, это следует иметь в виду при рассмотрении функции желез.

Взаимосвязь нервной и гормональной регуляции: гипоталамус-гипофиз

Нервная и гормональная системы регуляции, хотя и имеют различный эволюционный возраст, в организме современных многоклеточных животных и человека представляют собой одно целое. Местом их объединения служит головной мозг, точнее его дно, где расположен гипоталамус и связанный с ним специальной соединительной структурой гипофиз. Гипоталамус представляет собой совершенно особенное образование, сочетающее функции нервной мозговой структуры и эндокринной железы. Его нервные клетки соединены с важнейшими центрами головного мозга, управляющими деятельностью всех внутренних органов и многими аспектами поведения. Однако эти же клетки вырабатывают БАВ гормонального типа (еще называемые *нейропептидами*), предназначенные специально для регуляции активности определенных зон гипофиза — «главной» эндокринной железы организма. Эти вещества называются *рилизинг-факторами* или *либеринами*, что означает «освободители», так как они своим воздействием на гипофиз «освобождают» из него гормоны, уже синтезированные и хранящиеся в специальных пузырьках до момента поступления приказа от гипоталамуса. Получив такой приказ, железистые клетки гипо-

физа выбрасывают накопленные ими гормоны в кровяное русло, и механизм эндокринной регуляции начинает действовать. Другой ряд веществ, вырабатываемых нервными клетками и концентрирующихся в гипоталамусе, — *статины*, тормозящие высвобождение гормонов клетками гипофиза. Секреторные клетки гипофиза лишены собственной иннервации, поэтому все управление их активностью осуществляется только с помощью химических стимулов, посылаемых гипоталамусом.

Однако и сам гипоталамус находится под непрерывным контролем со стороны нервных структур головного мозга. Как говорилось выше, нервные клетки соединяются друг с другом через посредство синапсов, в которых нервный (электрический) импульс преобразуется в медиаторный (химический). В гипоталамических синапсах чаще всего выделяются медиаторы — дофамин, норадреналин и серотонин, каждый из которых по-своему воздействует на клетки гипоталамуса, причем он может, например, активизировать деятельность одних и тормозить активность других клеток. Здесь работают законы сложнейших нейронных сетей, с суммацией и усилением противоположно направленных воздействий. Детали этих взаимодействий сейчас интенсивно исследуются специалистами в области цитологии, эндокринологии, биохимии мозга и физиологии ЦНС. В последние десятилетия эти исследования уже привели к поразительным результатам, переворачивающим наши представления о сущности нейроэндокринной регуляции. Оказалось, что нервные клетки во многих отделах головного мозга, а не только клетки гипоталамуса, способны вырабатывать нейропептиды — белковые вещества, имеющие выраженную биологическую активность. Среди этих нейропептидов были обнаружены и давно известные гормоны (в том числе те, которые традиционно считались продуктами гипоталамуса и гипофиза) и такие вещества, которые прежде не были известны — эндорфины и энкефалины, влияющие на активность нервных центров и формирующие «настроение» человека. Более того, было установлено, что чуть ли не в каждой ткани есть клетки, выполняющие гормональные функции, т.е. вырабатывающие гормоны, необходимые для регуляции процессов, идущих в непосредственной близости от этих периферических секреторных зон.

В какой-то момент по мере развития исследований стало казаться, что никакого порядка в синтезе гормонов в организме и вовсе нет: гормоны, вырабатываемые обычно пищеварительными органами, стали находить в головном и спинном мозге, а гипофизарный адренокортикотропный гормон — в желудочно-кишечном тракте, гормон гипоталамуса соматостатин — в поджелудочной железе... В результате анализа и обобщения огромного фактического материала родилась концепция диффузной нейроэндокринной системы, которая постепенно завоевывает все боль-

шее признание в научном мире. Ее смысл состоит в том, что одни и те же вещества, которые мы называем гормонами или нейропептидами, могут вырабатываться как нервными, так и железистыми клетками. Такая двойная продукция этих высокомолекулярных веществ — не расточительство, а способ «двойного контроля», так как позволяет обеспечить совмещение нервного и гуморального воздействия. Кроме того, такая система в каком-то смысле более экономична, поскольку специфика действия пептида проявляется не в его строении (а значит, особых условиях синтеза), а в месте его приложения.

Иерархия (соподчиненность) и взаимодействие желез внутренней секреции

Структура эндокринной системы демонстрирует реализованную в живом организме стратегию иерархически организованного централизованного управления. Несмотря на популярность концепции диффузной нейроэндокринной системы, следует признать, что централизованные механизмы управления гормональным статусом организма играют все же первостепенную роль. С точки зрения теории сложных систем это также означает, что нет антагонистического противоречия между жестко иерархически построенной системой и периферической диффузной активностью локальных источников гормонов.

Итак, центральным органом этой системы, объединяющим нервные и гуморальные рычаги управления, служит гипоталамус. Эмбриональные закладки гипоталамуса и гипофиза относятся к одной группе клеток, и эта теснейшая связь, как структурная, так и функциональная, сохраняется между ними на протяжении всей последующей жизни.

Схематически управление эндокринной системой можно представить себе как управленческую пирамиду с кольцеобразно замкнутыми на разных уровнях ветвями обратной связи (рис. 70). Грубо говоря, гипоталамус вырабатывает либерины и статины, которые управляют активностью аденогипофиза; аденогипофиз выделяет тропные гормоны, которые направляются к удаленным железам-мишеням (надпочечник, щитовидная железа, половые железы) и несут им химически закодированные распоряжения об усилении или торможении секреции их собственных гормонов; периферические железы усиливают или уменьшают секрецию гормонов, которые воздействуют уже непосредственно на висцеральные органы-мишени. При этом следует подчеркнуть, что число разновидностей и количество молекул выделяемых гормонов увеличивается в этом ряду в геометрической прогрессии: гипоталамус вырабатывает единичные молекулы статинов и либеринов, гипофиз

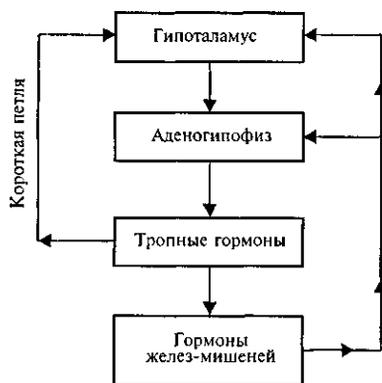


Рис. 70. Регуляция нейросекреции по механизму обратной связи. Петли обратной связи обуславливают торможение экскреции гормонов аденогипофиза и гипоталамуса гормонами желез-мишеней и тройными гормонами аденогипофиза

выделяет уже заметно большие количества тропных гормонов, а периферические (исполнительные) железы продуцируют специфические гормоны в количестве, необходимом для обработки всех органов-мишеней. Так в этой иерархической системе организован *каскад усиления* потока информационных молекул; однако, как и в каждой кибернетической системе, в управление этим потоком вмешиваются обратные связи, обеспечивающие тонкую подстройку потока информации к тем реальным событиям, которые происходят «на местах». Выделяют два контура регуляции по принципу обратной связи в деятельности эндокринной системы: первый — тормозящее влияние тропных гормонов

гипофиза на секрецию нейропептидов гипоталамусом. Второй — влияние гормонов периферических желез как на гипоталамус, так и на аденогипофиз. Первый контур представляет собой короткую петлю (все события ограничиваются объемом гипоталамус-гипофиз, т.е. путь гормонов по петле обратной связи составляет не более нескольких сантиметров), второй — длинную петлю (в регуляцию включены периферические железы, удаленные от места расположения гипофиза и гипоталамуса на десятки сантиметров).

Следует отметить, что периферические железы также связаны между собой многочисленными и не до конца изученными связями нижнего уровня. Нарушения деятельности любой из желез внутренней секреции приводят к расстройству всей системы. В некоторой степени эти расстройства могут быть компенсированы наличием диффузно распределенных по разным органам железистым клеткам. Однако они не способны справиться с серьезными нарушениями в работе любой из важнейших специализированных эндокринных желез.

Каскадный эффект эндокринной регуляции

Принцип действия системы эндокринной регуляции во многих случаях приводит к появлению так называемого каскадного эффекта: единичные молекулы гормонов, выделяемых на высшем

уровне регуляторной пирамиды, приводят к выбросу значительных количеств молекул гормонов периферическими звеньями. Если же результатом действия всей управленческой вертикали должно стать выделение в кровь какого-либо вещества (например, глюкозы), то эффективность каскада проявляется еще более наглядно. Рассмотрим каскадный эффект на примере управления отложением гликогена в клетках печени. Гипоталамус выделяет ничтожное количество кортиколиберина, в ответ на который аденогипофиз выбрасывает в кровь в 10 раз большее количество АКТГ. Достигнув коры надпочечников, этот гормон стимулирует выработку кортикостероидов в значительно больших количествах, а на внутриклеточном этапе метаболической регуляции коэффициент усиления достигает колоссальных размеров (табл. 14). Существование каскадного эффекта делает механизмы эндокринной регуляции во многих случаях весьма эффективными.

Таблица 14

Каскадный эффект эндокринной регуляции синтеза гликогена в печени

Орган	Синтезируемое вещество	Количество вещества, мкг
Гипоталамус	Кортиколиберин	0,1
Аденогипофиз	Кортикотропин (АКТГ)	1
Коранадпочечников	Кортикостероид	40
Печень	Гликоген	5600

Важнейшие железы внутренней секреции

Познакомимся с устройством и функцией важнейших желез внутренней секреции и ролью их гормонов в организме человека (рис.71).

Гипофиз — небольшой овальный непарный орган, расположенный у основания мозга в углублении турецкого седла основания черепа. Масса гипофиза у новорожденного составляет 0,1—0,15 г, к возрасту 10 лет она удваивается, а у взрослых превышает 0,5 г. Гипофиз состоит как бы из трех разных желез, различающихся морфологически и по характеру продуцируемых гормонов. Согласно Международной анатомической номенклатуре, переднюю долю гипофиза называют *аденогипофизом*, а заднюю — *нейрогипофизом*.

Передняя доля гипофиза (аденогипофиз) чувствительна к гипоталамическим рилизинг-факторам. Здесь вырабатываются тропные гормоны: тиреотропный — регулирующий активность щитовидной железы; аденокортикотропный (АКТГ) — управляющий корковым слоем надпочечников; гонадотропные (фолликулости-

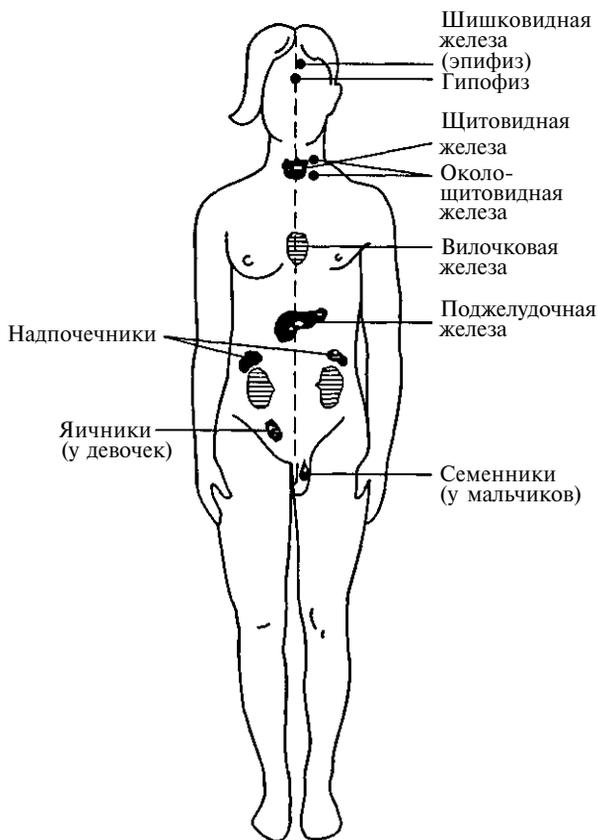


Рис. 71. Схема расположения эндокринных желез

мулирующий и лютеинизирующий) — определяющие активность половых желез. Здесь же, в передней доле гипофиза, вырабатываются два гормона прямого действия: гормон роста (соматотропин), регулирующий процессы роста костей в длину и процессы накопления жировой и мышечной массы, и пролактин, оказывающий стимулирующее воздействие на молочные железы и на гонады.

Физиологическое значение гормона роста будет обсуждено позже. Что касается пролактина, то основной мишенью для этого гормона служат млечные железы. Благодаря пролактину осуществляется выработка молока женскими молочными железами после родов. Механическое раздражение сосков кормящей женщины передается через многоступенчатую цепочку нервных волокон в гипоталамус, который выделяет пролактин-рилизинг-факторы, стимулирующие секрецию гормона гипофизом. Интересно, что в

большинстве тканей человека обнаружены рецепторы пролактина, однако для чего они и как на эти органы действует данный гормон пока не известно.

Есть еще маленькая промежуточная доля гипофиза, которая вырабатывает гормон меланотропин, от него зависит окраска кожного покрова. Как известно, цвет кожи определяется содержанием и расположением в кожных клетках пигмента меланина. Под влиянием меланотропина зернышки пигмента распределяются по всему объему кожных клеток, в результате чего кожа такого участка приобретает смуглый оттенок. Так называемые пигментные пятна беременности и усиленная пигментация кожи стариков — признаки гиперфункции промежуточной доли гипофиза.

Задняя доля гипофиза работает как периферическая железа (хотя и под контролем гипоталамуса) и секретирует два гормона, которые являются гормонами прямого действия. Это окситоцин и вазопрессин (другое название — антидиуретический гормон, или АДГ). Функция окситоцина сравнительно проста: он стимулирует гладкую мускулатуру матки при родах и выделение молока из молочных желез у женщин. Роль, которую играет этот гормон у мужчин, не выяснена.

Вазопрессин (он же АДГ) участвует в регуляции выделительной функции: под его влиянием усиливается обратное всасывание воды из первичной мочи. При патологическом уменьшении количества АДГ в крови возникает так называемый несахарный диабет, человек теряет огромное количество воды (10—20 л), что может привести к обезвоживанию организма. Вместе с гормонами коры надпочечников АДГ участвует в регуляции солевого состава крови, т.е. обеспечивает водно-солевой гомеостаз организма.

Надпочечники — парный конусовидный орган, располагающийся над почками на небольших жировых подушках. Масса каждого надпочечника у новорожденного составляет 2,5—3 г, у взрослого человека — 6—7 г. Каждый надпочечник представляет собой две совершенно различные железы, неодинаковые по строению и функции. Как на продольном, так и на поперечном срезе надпочечника отчетливо выделяются два слоя — корковый (наружный) и мозговой (внутренний).

Мозговое вещество надпочечников вырабатывает адреналин и норадреналин — вещества из группы катехоламинов, управляющие тонусом кровеносных сосудов и мобилизацией углеводов. Эти гормоны относятся к разряду быстродействующих, почти мгновенно реагирующих на острый запрос со стороны нервной системы. Такая быстрая реакция возможна потому, что синтезированные заранее молекулы гормонов хранятся в мозговом слое надпочечников в виде гранул, которые легко освобождаются и выводятся в венозный кровоток при первой же потребности. Адреналин ускоряет и усиливает сокращения сердца, учащает дыхание, рас-

ширяет бронхи, стимулирует распад гликогена и выход глюкозы в кровь из печени, усиливает сокращения скелетной мускулатуры и кратковременно снимает их утомление, и т.п. Норадrenalин, кроме того, резко активизирует теплопродукцию в мышцах, печени, бурой жировой ткани. Все эти физиологические эффекты направлены на одно: обеспечить организму немедленную мобилизацию всех ресурсов для осуществления интенсивной мышечной деятельности и терморегуляции. Такая потребность возникает у организма в условиях острого стресса, в экстремальных ситуациях, в условиях резкого переохлаждения. Мозговое вещество надпочечников построено из клеток, тесно связанных происхождением и регуляцией с симпатической нервной системой. Поэтому во всех случаях, когда обстоятельства требуют от человека экстренной мобилизации, резко активизируется синтез адреналина, а накопленный заранее гормон выбрасывается в кровяное русло.

Корковое вещество надпочечников вырабатывает около 40 различных стероидных гормонов, которые обобщенно называют *кортикостероидами*. Они подразделяются на три группы:

1. Глюкокортикоиды — гормоны, регулирующие обмен углеводов. К ним относятся гидрокортизон, кортизон и кортикостерон. Еще эти гормоны иногда называют противовоспалительными, поскольку они подавляют образование иммунных тел и снижают повышенную чувствительность организма к некоторым веществам.

2. Минералокортикоиды регулируют минеральный и водный обмен. Одним из гормонов этой группы является альдостерон.

3. Андрогены и эстрогены — аналоги мужских и женских половых гормонов. Эти гормоны вырабатываются в надпочечниках в сравнительно небольших количествах и менее активны, чем гормоны собственно половых желез.

Работа коркового слоя надпочечников управляется гормоном АКГГ, вырабатываемым передним отделом гипофиза. Система гипоталамус—гипофиз—кора надпочечников играет решающую роль в процессах долговременной адаптации организма к любым факторам внешней среды.

Щитовидная железа расположена впереди гортани в виде пары долей, каждая из которых имеет листообразную форму, а вместе они срослись в верхней части в форме перешейка. Масса щитовидной железы новорожденного составляет 1 г, к 10 годам увеличивается примерно до 10 г, а у взрослого достигает 15—18 г. Гормон щитовидной железы *тироксин* представляет собой соединение йода с аминокислотами. Тироксин — мощный стимулятор обменных процессов в организме. Под его влиянием значительно ускоряется обмен белков, жиров, углеводов, активируется митохондриальное окисление, что приводит к возрастанию потребления кислорода. Благодаря этим свойствам тироксин стимулирует ЦНС. Недостаток гормона способен привести к тяжелым расстройствам

психики, вплоть до резкого отставания в умственном и психическом развитии (кретинизм). Обычно это сочетается со столь же значительным отставанием физического развития и полового созревания. Раннее выявление гипофункции щитовидной железы и адекватное лечение производят значительный эффект.

Увеличение щитовидной железы может быть признаком недостатка йода в рационе (так называемый зоб). Причина может заключаться в недостатке йода в пище и воде (эндемический зоб — болезнь, типичная для жителей некоторых районов, особенно горных) — тогда йод вводят дополнительно в поваренную соль или рекомендуют активное употребление морских водорослей, богатых йодом. В последние десятилетия большое количество нарушений функции щитовидной железы выявлены в связи с ухудшением экологической, в том числе радиационной обстановки. В зонах, подвергшихся воздействию чернобыльского следа, а также в некоторых районах Урала и Поволжья большое число детей, особенно в период полового созревания, страдает от гипофункции щитовидной железы радиогенной природы. Своевременное лечение, в том числе экзогенными гормонами, а также массажное введение йодистого калия во многих случаях помогает при этом заболевании.

Тироксиновая активность щитовидной железы контролируется тиреотропным гормоном передней доли гипофиза. В свою очередь, повышенное содержание в крови тироксина оказывает тормозящее действие на секреторные клетки аденогипофиза, и уровень тиреотропного гормона тем самым снижается. Так замыкается один из контуров обратной связи, обеспечивающей саморегуляцию активности эндокринной системы.

Наряду с тироксином, щитовидная железа вырабатывает также другой гормон, обеспечивающий усвоение кальция костной тканью, — *кальцитонин*. Роль этого гормона особенно велика в период онтогенеза, что связано с усиленным ростом скелета. К старости активность щитовидной железы по производству кальцитонина снижается, и это является одним из факторов повышения хрупкости костей у стариков. Синтез кальцитонина не регулируется гипоталамо-гипофизарной системой, а зависит только от соотношения концентраций кальцитонина и ионов кальция в крови, а также от активности околощитовидных желез.

Околощитовидные, или паращитовидные, железы. Обычно их бывает 4 и расположены они латерально, непосредственно соприкасаясь со щитовидной железой. Это маленькие (около 0,13 г у взрослого) округлые образования. Вырабатываемый этими железами секрет содержит противоположный по своей физиологической роли кальцитонину *паратгормон* — под его воздействием содержание кальция в крови возрастает. Кальций не только составляет минеральную основу кости, он также совершенно необходим

мышцам для нормального сокращения и расслабления. Его недостаток в крови приводит к судорогам. Баланс активности синтеза кальцитонина щитовидной железой и паратгормона околощитовидными железами — важнейшее условие нормального обмена кальция в организме и поддержания на требуемом уровне минерального состава костей.

Поджелудочная железа имеет продолговатую форму и расположена на задней брюшной стенке позади желудка в непосредственной близости от двенадцатиперстной кишки, куда открываются ее протоки для выведения в кишечник пищеварительных ферментов, синтезируемых железой. Масса железы у новорожденного составляет 2—3 г, к подростковому возрасту она увеличивается примерно в 10 раз, а у взрослого достигает 80—100 г. Микроскопическое исследование показывает, что ткань поджелудочной железы состоит из клеток двух типов — экзокринных ацинозных, вырабатывающих пищеварительные ферменты, поступающие в двенадцатиперстную кишку, и трех видов эндокринных клеток островков Лангерганса, вырабатывающих гормоны глюкагон (клетки типа альфа, 25%), инсулин (клетки типа бета, 60%) и соматостатин (клетки типа дельта, 15%). Доля эндокринных клеток у новорожденного составляет примерно 3,5% от общей массы железы, у взрослого даже еще меньше.

Инсулин (от лат. *Insula* — островок) — это крупная белковая молекула, в состав которой входит свыше 50 аминокислот. Инсулин, вырабатываемый поджелудочной железой разных животных, имеет одинаковое биологическое действие, которое заключается в снижении содержания углеводов в крови за счет их активного поглощения всеми клетками тела, особенно печенью и мышцами, где из глюкозы синтезируется гликоген. Глюкоза — важнейший субстрат для питания нервной ткани, поэтому поддержание уровня глюкозы в крови на постоянном уровне — одна из центральных задач механизмов гомеостаза. После приема пищи содержание сахара в крови резко возрастает, и в ответ увеличивается уровень инсулина. Под его действием молекулы углеводов активно поглощаются печенью и мышцами, в результате содержание глюкозы в крови быстро (в течение примерно 2 ч) нормализуется, а вслед за этим нормализуется и уровень инсулина. В промежутках между приемами пищи уровень инсулина в крови низок, и это позволяет глюкозе свободно выходить из клеток печени, в которых углеводов хранится в виде гликогена, и принимать участие в питании мозга и других нуждающихся в пищевых веществах тканей. Следует отметить, что поглощение глюкозы нервной тканью не зависит от уровня инсулина, зато уровень глюкозы в крови существенно влияет на качество питания мозга. Если глюкозы в крови становится меньше 0,5—0,2 г/л, это может привести к *гипогликемическому шоку* с помутнением сознания или даже комой.

Такое состояние иногда наблюдается при гиперфункции поджелудочной железы, которая может быть вызвана патологическими процессами (например, опухолью) или нарушением эндокринного баланса в критические периоды развития (у подростков в период полового созревания). Сходные явления бывают также следствием длительной напряженной мышечной нагрузки.

Более известно другое заболевание — сахарный диабет, — связанное с недостаточной секрецией инсулина. В этом случае глюкоза не усваивается клетками тела из-за нехватки в крови гормона, а избыток сахара выделяется с мочой, с чем и связано название этого заболевания. В тяжелых случаях у больных может наступить диабетическая кома. Наряду с диетой важнейшим способом лечения сахарного диабета является регулярное введение экзогенного гормона инсулина, который раньше добывали из поджелудочной железы крупного рогатого скота, а теперь в больших количествах синтезируют химическим путем на фармацевтических фабриках.

Данных о возрастных особенностях секреции инсулина у детей крайне мало. Однако известно, что толерантность (устойчивость) к глюкозной нагрузке у детей до 10 лет выше, а усвоение пищевой глюкозы происходит существенно быстрее, чем у взрослых (это объясняет, почему дети так любят сладкое и потребляют его в больших количествах без опасности для своего здоровья). К старости этот процесс еще больше замедляется, что свидетельствует о снижении инсулярной активности поджелудочной железы. Об этом же говорит и тот факт, что диабет чаще всего развивается у людей после 40 лет, хотя нередки случаи и врожденного диабета, что обычно связано с наследственной предрасположенностью. Такие формы сахарного диабета наиболее трудно поддаются лечению. В период от 6 до 12 лет сахарный диабет иногда развивается на фоне перенесенных острых инфекционных заболеваний (корь, ветряная оспа, свинка). Отмечено, что развитие заболевания способствует переедание, в особенности избыток в пище углеводов.

Глюкагон, вырабатываемый альфа-клетками островков Лангерганса, представляет собой полипептид, состоящий из 29 аминокислотных остатков. По своему физиологическому действию глюкагон является антагонистом инсулина: стимулирует расщепление гликогена печени, обеспечивая тем самым быстрое повышение концентрации глюкозы в крови. Действие глюкагона очень похоже на действие адреналина: через аденилаткиназу, образование цАМФ и т.д. Основной орган-мишень для глюкагона — печень, т.е. главное депо гликогена в организме.

Соматостатин — третий гормон поджелудочной железы — пептид, молекулы которого примерно в 2 раза мельче, чем молекулы глюкагона. Впервые этот гормон был обнаружен в гипоталамусе,

он угнетает выработку гипофизом гормона роста, чем и обусловлено его название. В дальнейшем оказалось, что этот пептид вырабатывается во многих тканях организма, причем практически везде он работает как *ингибитор*. В островках Лангерганса он выступает как внутритканевый гормон, который не поступает в кровь, а действует на местном, периферическом уровне, угнетая секрецию как инсулина, так и глюкагона. Кроме того, он угнетает также работу желудочно-кишечного тракта и всасывание питательных веществ. Секреция соматостатина островковыми дельта-клетками возрастает при высоких концентрациях глюкозы, аминокислот и жирных кислот в крови. Таким образом, соматостатин предотвращает перепроизводство инсулина при гипергликемии.

Половые железы у мужчин и женщин сильно различаются. Для эмбрионального развития мужских желез необходимо наличие в генетическом аппарате Y-хромосомы, а для нормального развития женских желез — двух X-хромосом. Мужские половые гормоны (андрогены) вырабатываются особыми клетками семенников. Женские половые гормоны (эстрогены) продуцируются яичниками. Несмотря на существенное различие в своих физиологических свойствах, как мужские, так и женские половые гормоны относятся к стероидам и синтезируются в организме из одного и того же предшественника — холестерина, важного продукта жирового обмена.

Семенники мужчин — парный орган яйцевидной формы, расположенный в мошонке вне основной массы тела. Масса обоих семенников новорожденного не превышает 1 г, до возраста 10—12 лет она остается на уровне 1,5—2 г, с началом полового созревания (13—14 лет) увеличивается до 15 г, а у взрослого мужчины составляет 30—40 г. Кроме семенников, к половым железам у мужчины относится также непарная предстательная железа, которая расположена в тазу, перед прямой кишкой, и окружает шейку мочевого пузыря и уретру. По размеру предстательная железа взрослого мужчины примерно равна одному семеннику.

Женские яичники — это парные органы, расположенные в тазовой полости с каждой из сторон. Масса обоих яичников у новорожденной девочки составляет одну треть грамма, у взрослой женщины — около 10 г.

Мужские половые гормоны — тестостерон и андростерон — обуславливают развитие полового аппарата, рост половых органов, развитие вторичных половых признаков: ломку и огрубение голоса, изменение телосложения, характер роста волос на лице и теле. Вместе с фолликулостимулирующим гормоном гипофиза тестостерон активизирует сперматогенез. Главная функция андрогенов в организме — стимуляция синтеза белка. Именно по этой причине мужчины, как правило, крупнее женщин и более муску-

листые. Все анаболики, используемые в медицине и спорте (злоупотребление ими в спорте недопустимо, тогда как при истощении они выполняют роль лекарства), — производные андрогенов, на чем, собственно, и основано их действие. Гиперфункция семенников в раннем возрасте ведет к ускоренному половому созреванию, росту тела и преждевременному появлению вторичных половых признаков. Поражение или удаление (кастрация) семенников в раннем возрасте приводит к недоразвитию половых органов и вторичных половых признаков, а также к отсутствию полового влечения. В норме семенники функционируют в течение всей жизни мужчины. Хотя с возрастом секреция тестостерона снижается, нормальный сперматогенез часто идет до глубокой старости.

Женские половые гормоны — эстрогены — оказывают специфическое влияние на развитие половых органов, выработку яйцеклеток и их подготовку к оплодотворению, влияют на структуру матки и молочных желез. Истинным женским половым гормоном считается эстрадиол. Важную роль в обеспечении нормального протекания беременности играет также прогестерон — гормон, вырабатываемый желтым телом (образованием в яичнике на месте овулировавшей яйцеклетки). Гиперфункция яичников вызывает раннее половое созревание с выраженными вторичными половыми признаками и ранним началом менструаций. В литературе описаны случаи созревания девочек в 4—5 лет, тогда как нормальный возраст наступления половой зрелости у девочек — 12—15 лет. К старости у женщин наблюдается менопауза (прекращение менструаций), вызванная тем, что все или почти все фолликулы с содержащимися в них яйцеклетками израсходованы. Секреция эстрадиола при этом прекращается. В результате начинают проявлять себя андрогены, секретируемые надпочечниками, что ведет к некоторым характерным изменениям во внешнем облике женщин после менопаузы. Несмотря на затухание секретирующей функции яичников, гипоталамус и гипофиз продолжают ритмично вырабатывать свои гормоны, нацеленные на половую сферу пожилой женщины. Это ведет к неприятным ощущениям («приливы»). Эти симптомы могут быть ослаблены за счет небольших доз эстрогенов, которые, хотя и обладают некоторым анаболическим действием, все же в этот период могут принести значительную пользу, в том числе и в профилактике остеопороза (вымывания кальция из костей, в результате чего они становятся ломкими).

Половые гормоны в течение всей жизни оказывают сильнейшее влияние на обменные процессы, форму тела, характер жировложения и поведение человека. Уже у плода мужского пола головной мозг приобретает специфические мужские черты под влиянием андрогенов. Если по той или иной причине воздействия андрогенов на мозг эмбриона не происходит, то он остается феминизированным. Половые гормоны действуют на гипоталамус и

лимбическую структуру ЦНС, ответственную за агрессивность и половое поведение. При этом между выраженностью вторичных половых признаков у мужчин, активностью их полового поведения и агрессивностью установлена прямая связь.

Гормональный статус новорожденного

Хотя большинство желез внутренней секреции начинает функционировать еще внутриутробно, первым серьезным испытанием для всей системы биологической регуляции организма является момент родов. Родовой стресс — важный пусковой механизм для многочисленных процессов адаптации организма к новым для него условиям существования. Любые нарушения и отклонения в работе регуляторных нейроэндокринных систем, происшедшие в процессе рождения ребенка, могут оказывать серьезное влияние на состояние его здоровья в течение всей последующей жизни.

Первая — срочная — реакция нейроэндокринной системы плода в момент родов направлена на активизацию метаболизма и внешнего дыхания, которое внутриутробно вообще не функционировало. Первый вздох ребенка — важнейший критерий живорожденности, но сам по себе он является следствием сложнейших нервных, гормональных и метаболических воздействий. В пуповинной крови отмечается очень высокая концентрация катехоламинов — адреналина и норадреналина, гормонов «срочной» адаптации. Они не только стимулируют энергетический обмен и распад в клетках жиров и полисахаридов, но и тормозят образование слизи в ткани легких, а также стимулируют дыхательный центр, расположенный в стволовом отделе головного мозга. В первые часы после рождения быстро нарастает активность щитовидной железы, гормоны которой также стимулируют обменные процессы. Все эти гормональные выбросы осуществляются под контролем гипофиза и гипоталамуса. Дети, появившиеся на свет при помощи кесарева сечения и поэтому не испытавшие естественного родового стресса, имеют значительно более низкий уровень катехоламинов и тиреоидных гормонов в крови, что отрицательно сказывается на функции их легких в течение первых суток жизни. В результате их головной мозг страдает от некоторого недостатка кислорода, и это может в какой-то мере сказаться в последствии.

Гормональная регуляция роста

Гипоталамус выделяет два противоположно действующих гормона — рилизинг-фактор и соматостатин, которые направляются в аденогипофиз и регулируют выработку и выделение гормона

роста. До сих пор неизвестно, что сильнее стимулирует выброс гормона роста из гипофиза — увеличение концентрации рилизинг-фактора или уменьшение содержания соматостатина. Гормон роста секретируется не равномерно, а эпизодически, 3—4 раза в течение дня. Усиление секреции гормона роста происходит под влиянием голодания, тяжелой мышечной работы, а также во время глубокого сна: недаром, видимо, народная традиция утверждает, что дети растут по ночам. С возрастом секреция гормона роста уменьшается, но тем не менее не прекращается в течение всей жизни. Ведь у взрослого человека процессы роста продолжают, только они уже не приводят к нарастанию массы и числа клеток, а обеспечивают замену устаревших, отработавших клеток новыми.

Выделяющийся гипофизом гормон роста производит два различных воздействия на клетки организма. Первое — непосредственное — действие состоит в том, что в клетках усиливается распад накопленных ранее запасов углеводов и жиров, их мобилизация для нужд энергетического и пластического обмена. Второе — опосредованное — действие осуществляется с участием печени. В ее клетках под воздействием гормона роста вырабатываются вещества-посредники — соматомедины, которые уже воздействуют на все клетки тела. Под влиянием соматомединов усиливается рост костей, синтез белка и деление клеток, т.е. происходят те самые процессы, которые принято называть «ростом». При этом в процессах синтеза белка и клеточного деления принимают участие молекулы жирных кислот и углеводов, высвободившиеся благодаря непосредственному действию гормона роста.

Если выработка гормона роста снижена, то ребенок не вырастает и становится *карликом*. При этом он сохраняет нормальное телосложение. Рост может также преждевременно прекратиться из-за нарушений в синтезе соматомединов (считается, что это вещество по генетическим причинам не вырабатывается в печени пигмеев, имеющих во взрослом состоянии рост 7—10-летнего ребенка). Напротив, гиперсекреция гормона роста у детей (например, вследствие развития доброкачественной опухоли гипофиза) может привести к *гигантизму*. Если же гиперсекреция начинается после того, как под воздействием половых гормонов уже завершается окостенение хрящевых участков костей, формируется *акромегалия* — непропорционально удлиняются конечности, кисти и стопы, нос, подбородок и другие оконечные части тела, а также язык и пищеварительные органы. Нарушение эндокринной регуляции у больных акромегалией нередко ведет к различным заболеваниям обмена веществ, в том числе к развитию сахарного диабета. Своевременно примененная гормональная терапия или хирургическое вмешательство позволяют избежать наиболее опасного развития болезни.

Гормон роста начинает синтезироваться в гипофизе человека на 12-й неделе внутриутробной жизни, а после 30-й недели его концентрация в крови плода становится в 40 раз больше, чем у взрослого. К моменту рождения концентрация гормона роста падает примерно в 10 раз, но все же остается чрезвычайно высокой. В период от 2 до 7 лет содержание гормона роста в крови детей сохраняется примерно на постоянном уровне, который в 2—3 раза превышает уровень взрослых. Показательно, что в этот же период завершаются наиболее бурные ростовые процессы до начала пубертата. Затем наступает период значительного уменьшения уровня гормона — и рост тормозится. Новое повышение уровня гормона роста у мальчиков отмечается после 13 лет, причем его максимум отмечается в 15 лет, т.е. как раз в момент наиболее интенсивного увеличения размеров тела у подростков. К 20 годам содержание гормона роста в крови устанавливается на типичном для взрослых уровне.

С началом полового созревания в регуляцию ростовых процессов активно включаются половые гормоны, стимулирующие анаболизм белков. Именно под действием андрогенов происходит соматическое превращение мальчика в мужчину, поскольку под влиянием этого гормона ускоряется рост костной и мышечной ткани. Повышение концентрации андрогенов во время полового созревания вызывает скачкообразное увеличение линейных размеров тела — происходит *пубертатный скачок роста*. Однако вслед за этим то же повышенное содержание андрогенов приводит к окостенению зон роста в длинных костях, в результате чего их дальнейший рост прекращается. В случае преждевременного полового созревания рост тела в длину может начаться чрезмерно рано, но рано и закончится, и в итоге мальчик останется «недомерком».

Андрогены стимулируют также усиленный рост мышц и хрящевых частей гортани, в результате чего у мальчиков «ломается» голос, он становится значительно более низким. Анаболическое действие андрогенов распространяется на все скелетные мышцы тела, благодаря чему мышцы у мужчин развиты гораздо больше, чем у женщин. Женские эстрогены обладают менее выраженным, чем андрогены, анаболическим действием. По этой причине у девочек в пубертатный период увеличение мышц и длины тела меньше, а пубертатный скачок роста слабее выражен, чем у мальчиков.

Гормональная регуляция полового созревания

Хромосомные наборы мужского и женского организма различаются тем, что у женщин имеется две X-хромосомы, а у мужчин — одна X- и одна Y-хромосома. Это различие определяет пол зародыша и возникает в момент оплодотворения. Уже в эмбриональ-

ном периоде развитие половой сферы полностью зависит от активности гормонов. Известно, что если гонада эмбриона не развивается или удалена, то формируются женские половые органы — яичеводы и матка. Для того чтобы развились мужские половые органы, необходима гормональная стимуляция со стороны семенников. Яичник зародыша не является источником гормонального воздействия на развитие половых органов. Активность половых хромосом наблюдается на очень коротком отрезке онтогенеза — от 4-й до 6-й недели внутриутробного развития и проявляется только в активации семенников. Никаких различий в дифференцировке других тканей тела между мальчиками и девочками нет, и если бы не гормональное влияние семенников, развитие протекало бы только по женскому типу.

Женский гипофиз работает циклически, что определяется гипоталамическими влияниями. У мужчин гипофиз функционирует равномерно. Установлено, что в самом гипофизе нет половых различий, они заключены в нервной ткани гипоталамуса и прилежащих ядер головного мозга. В период между 8-й и 12-й неделей внутриутробного развития семенник должен «сформировать» гипоталамус по мужскому типу с помощью андрогенов. Если этого не произойдет, у плода сохранится циклический тип секреции гонадотропинов даже при наличии мужского набора хромосом XY. Поэтому употребление беременной женщиной половых стероидов на начальных этапах беременности весьма опасно.

Мальчики рождаются с хорошо развитыми экскреторными клетками семенников (клетки Лейдига), которые, однако, деградируют на 2-й неделе после рождения. Вновь они начинают развиваться только в период полового созревания. Этот и некоторые другие факты позволяют предположить, что репродуктивная система человека в принципе готова к развитию уже к моменту рождения, однако под влиянием специфических нейрогуморальных факторов этот процесс затормаживается на несколько лет — до начала пубертатных перестроек в организме.

У новорожденных девочек иногда наблюдается реакция со стороны матки, появляются кровянистые выделения наподобие менструальных, а также отмечается активность молочных желез вплоть до секреции молока. Подобная же реакция молочных желез бывает и у новорожденных мальчиков.

В крови новорожденных мальчиков содержание мужского гормона тестостерона выше, чем у девочек, но уже через неделю после рождения ни у мальчиков, ни у девочек этого гормона почти не обнаруживают. Однако через месяц у мальчиков содержание тестостерона в крови вновь быстро увеличивается, достигая к 4—7 мес половины уровня взрослого мужчины, и сохраняется на таком уровне в течение 2—3 мес, после чего несколько снижается и уже не меняется до начала пубертата. С чем связан такой инфан-

тильный выброс тестостерона — неизвестно, но есть предположение, что в этот период формируются какие-то очень важные «мужские» свойства.

Процесс полового созревания протекает неравномерно, и его принято подразделять на определенные этапы, на каждом из которых складываются специфические взаимоотношения между системами нервной и эндокринной регуляцией. Эти этапы английский антрополог Дж.Таннер назвал стадиями, а исследования отечественных и зарубежных физиологов и эндокринологов позволили установить, какие морфофункциональные свойства характерны для организма на каждой из этих стадий.

Нулевая стадия — стадия новорожденности. Эта стадия характеризуется наличием в организме ребенка сохранившихся материнских гормонов, а также постепенным регрессом деятельности собственных желез внутренней секреции, после того как родовой стресс закончится.

Первая стадия — стадия детства (инфантилизм). Период от года до появления первых признаков полового созревания расценивается как этап полового инфантилизма, т.е. подразумевается, что в этот период ничего не происходит. Однако незначительное и постепенное увеличение секреции гормонов гипофиза и гонад в этот период имеет место, и это косвенно свидетельствует о созревании диэнцефальных структур головного мозга. Развитие половых желез в этот период не происходит потому, что оно тормозится гонадотропин-ингибирующим фактором, который вырабатывается гипофизом под воздействием гипоталамуса и другой мозговой железы — эпифиза. Этот гормон очень похож на гонадотропный гормон по строению молекулы, а потому легко и прочно соединяется с рецепторами тех клеток, которые настроены на чувствительность к гонадотропинам. Однако никакого стимулирующего действия на половые железы гонадотропин-ингибирующий фактор не оказывает. Напротив, он перекрывает доступ к рецепторам гонадотропному гормону. Такая конкурентная регуляция — типичный прием, используемый в метаболических процессах всех живых организмов.

Ведущая роль в эндокринной регуляции на этом этапе принадлежит гормонам щитовидной железы и гормону роста. Начиная с 3 лет девочки опережают мальчиков по уровню физического развития, и это сочетается с более высоким содержанием гормона роста у них в крови. Непосредственно перед пубертатом секреция гормона роста еще усиливается, и это вызывает ускорение ростовых процессов — *препубертатный скачок роста*. Наружные и внутренние половые органы развиваются малозаметно, вторичных половых признаков нет. Заканчивается эта стадия у девочек в 8—10, а у мальчиков — в 10—13 лет. Хотя мальчики растут на этой стадии чуть медленнее, чем девочки, большая длительность стадии при-

водит к тому, что при вступлении в пубертат мальчики оказываются крупнее девочек.

Вторая стадия — гипофизарная (начало пубертата). К началу полового созревания снижается образование ингибитора гонадотропина, а также усиливается секреция гипофизом двух важнейших гонадотропных гормонов, стимулирующих развитие половых желез — фоллитропина и лютропина. В результате железы «просыпаются» и начинается активный синтез тестостерона. В этот момент чувствительность половых желез к гипофизарным влияниям существенно увеличивается, и постепенно налаживаются эффективные обратные связи в системе гипоталамус—гипофиз—гонады. У девочек в этот же период наиболее высока концентрация гормона роста, у мальчиков пик ростовой активности наблюдается позже. Первым внешним признаком начала пубертата у мальчиков служит увеличение яичек, которое как раз и происходит под влиянием гонадотропных гормонов гипофиза. В 10 лет эти изменения можно заметить у трети мальчиков, в 11 — у двух третей, а к 12 годам — практически у всех.

У девочек первый признак пубертата — набухание молочных желез, причем часто чуть раньше начинается увеличение левой железы. Сначала железистую ткань можно только пропальпировать, затем выпячивается околососковый кружок. Отложение жировой ткани и формирование зрелой железы происходит на последующих этапах пубертата.

Эта стадия полового созревания заканчивается у мальчиков в 11—12, а у девочек — в **9—10** лет.

Третья стадия — стадия активации гонад. На этом этапе воздействие гипофизарных гормонов на половые железы усиливается, и гонады начинают вырабатывать в больших количествах половые стероидные гормоны. Одновременно увеличиваются и сами гонады: у мальчиков это хорошо заметно по значительному увеличению размеров яичек. Кроме того, под суммарным воздействием гормона роста и андрогенов мальчики сильно вытягиваются в длину, растет также половой член, практически достигая к 15 годам взрослых размеров. Высокая концентрация женских половых гормонов — эстрогенов — у мальчиков в этот период может приводить к набуханию молочных желез, расширению и усилению пигментации зоны соска и ареолы. Эти изменения непродолжительны и обычно благополучно проходят без вмешательства через несколько месяцев после появления.

На этой стадии как у мальчиков, так и у девочек происходит интенсивное оволосение лобка и подмышечных впадин. Заканчивается данная стадия у девочек в 10—11, а у мальчиков в 12—16 лет.

Четвертая стадия — стадия максимального стероидогенеза. Активность гонад достигает максимума, надпочечники синтезируют

большое количество половых стероидов. У мальчиков сохраняется высокий уровень гормона роста, поэтому они продолжают интенсивно расти, у девочек ростовые процессы замедляются.

Первичные и вторичные половые признаки продолжают развиваться: усиливается лобковое и подмышечное оволосение, увеличивается размер гениталий. У мальчиков именно на этой стадии происходит мутация (ломка) толоса.

Пятая стадия — этап окончательного формирования. Физиологически этот период характеризуется установлением сбалансированной обратной связи между гормонами гипофиза и периферическими железами. Эта стадия начинается у девушек в 11—13 лет, у юношей — в 15—17 лет. На этом этапе завершается формирование вторичных половых признаков. У мальчиков это формирование «адамова яблока», оволосение лица, оволосение на лобке по мужскому типу, завершение развития подмышечного оволосения. Волосы на лице обычно появляются в следующей последовательности: верхняя губа, подбородок, щеки, шея. Этот признак развивается позже других и окончательно формируется к 20 годам или позже. Сперматогенез достигает своего полного развития, организм юноши готов к оплодотворению. Рост тела на этой стадии практически останавливается.

У девушек на этой стадии появляется менархе. Собственно, первая менструация и является для девушек началом последней, пятой, стадии полового созревания. Затем в течение нескольких месяцев происходит становление характерного для женщин ритма овуляций и менструаций. Менструация у большинства женщин продолжается от 3 до 7 дней и повторяется каждые 24—28 дней. Цикл считается установившимся, когда менструации наступают через одинаковые промежутки времени, длятся одинаковое число дней с одинаковым распределением интенсивности по дням. В начале менструации могут продолжаться 7—8 дней, исчезать на несколько месяцев, даже на год. Появление регулярных менструаций свидетельствует о достижении половой зрелости: яичники продуцируют готовые к оплодотворению созревшие яйцеклетки. Рост тела в длину прекращается на этой стадии у 90 % девушек.

Описанная динамика полового созревания наглядно демонстрирует, что у девочек этот процесс происходит скачкообразно и менее растянут во времени, чем у мальчиков.

Особенности переходного возраста. В период полового созревания радикально перестраивается не только функция гипоталамо-гипофизарной системы и активность половых желез, все без исключения физиологические функции претерпевают значительные, порой революционные изменения. Нередко это приводит к развитию несбалансированности отдельных систем между собой, нарушению согласованности в их действии, что негативно сказывается на функциональном состоянии организма. К тому же влияние

гормонов распространяется и на функции ЦНС, в результате чего подростки переживают серьезный кризис, связанный с внутренними и внешними факторами. Особенно неустойчивы в этот период эмоциональная сфера подростков и многочисленные механизмы саморегуляции.

Все это должны учитывать педагоги и родители, которые нередко забывают об особенностях «переходного» возраста, тем более о тех физиологических напряжениях, которые испытывают в этот период дети. Между тем многие психологические особенности подростков обусловлены их плохим самочувствием, частой и резкой сменой гормональной ситуации в организме, появлением совершенно новых и не всегда приятных телесных ощущений, к которым требуется постепенное привыкание.

Так, например, у многих девочек первые менструации часто сопровождаются достаточно сильными болевыми ощущениями, слабостью, общим упадком тонуса, значительной потерей крови. Иногда при этом повышается температура тела, возникают нарушения работы пищеварительной системы, наблюдаются вегетативные расстройства (головокружение, тошнота, рвота и т.п.). Все это, естественно, приводит к раздражительности и неуверенности, к тому же девочки нередко стесняются происходящих с ними изменений, не умеют объяснить свое состояние. Педагогу и родителям нужно проявлять особый такт и уважение к ребенку в такой момент. Было бы ошибкой заставлять девочку в «критические дни» ограничивать движения, отказываться от обычного режима — напротив, сохранение привычного модуса поведения (если самочувствие позволяет) способствует быстрейшему преодолению неприятных ощущений и возрастного кризиса в целом. Следует, однако, разумно подходить к уровню и характеру физической нагрузки, которая в такие периоды допустима: безусловно, должны быть исключены любые силовые нагрузки, связанные с натуживанием, а также чрезмерные по объему нагрузки — длительные пешие, велосипедные, лыжные и т.п. переходы, следует избегать переохлаждения и перегрева. Из гигиенических соображений лучше в этот период не принимать ванну, а использовать душ. В холодное время года молодым людям не следует сидеть на металлических и каменных поверхностях, ибо переохлаждение органов, расположенных в тазе и нижней части брюшной полости, чревато развитием целого ряда серьезнейших заболеваний. Любые болезненные ощущения у подростка являются поводом для обращения к врачу: значительно легче предупредить заболевание, чем после его лечить.

У мальчиков нет проблем с регулярными кровяными выделениями. Однако изменения в их организме в период полового созревания также весьма значительны и порой являются поводом для удивления и беспокойства как самого ребенка, так и окружа-

ющих его взрослых, которые нередко уже забыли, как этот период протекал у них самих. К тому же в современном мире существует много неполных семей, где мальчиков воспитывают мамы и бабушки, которые просто не подозревают о специфических «мужских» неприятностях пубертата. Первое, что часто беспокоит мальчиков на третьей—четвертой стадии полового созревания, — гинекомастия, т. е. набухание и болезненность молочных желез. При этом иногда из соска выделяется прозрачная жидкость, похожая по составу на молозиво. Как уже говорилось выше, этот период длится недолго и неприятные ощущения сами собой заканчиваются через несколько месяцев, однако здесь важно соблюдать гигиенические правила: держать грудь в чистоте, не занести руками в нее инфекцию, которая может надолго усложнить естественный процесс. Вслед за этим этапом происходит быстрое увеличение размеров полового члена, что создает поначалу неприятные ощущения, особенно если мальчик носит облегающую одежду — трусы и джинсы. Прикосновения одежды к головке члена в этот период бывают нестерпимо болезненными, поскольку мощнейшее рецептивное поле этого участка кожи еще не адаптировано к механическим воздействиям. Хотя с эрекцией все мальчики знакомы прямо с рождения (член эрегирует у здоровых детей в процессе мочеиспускания), сильно увеличившийся в размерах орган в момент эрекции доставляет многим подросткам физическое страдание, не говоря уже о психологическом напряжении. Между тем в норме здоровый подросток, как и молодой взрослый мужчина, почти ежедневно просыпается с сильно эрегированным членом — это естественное следствие активации блуждающего нерва во время сна. Подростки часто стесняются такого состояния, и требования родителей (или воспитателей в детских учреждениях) немедленно покинуть постель после пробуждения для них бывают невыполнимы именно по этой причине. Не следует оказывать на ребенка давление в этом отношении: со временем он выработает правильное поведение, которое позволит ему психологически приспособиться к этой физиологической особенности. Через 2—3 мин после просыпания эрекция сама собой проходит, и подросток может встать из постели без ощущения неловкости. Аналогичные ситуации бывают при длительном сидении, особенно на мягкой поверхности: кровь приливает к органам таза, и возникает самопроизвольная эрекция. Так нередко бывает при езде в общественном транспорте. Подобная эрекция не имеет ничего общего с половым возбуждением и быстро и безболезненно проходит через 1—2 мин. Главное — не концентрировать внимание подростка на этом факте и уж тем более не стыдить его — он совершенно не виноват в том, что он здоров.

На четвертой—пятой стадии полового созревания (обычно в 15—16 лет) юноша уже практически готов к оплодотворению, его

семенники непрерывно вырабатывают зрелые сперматозоиды, и семенная жидкость скапливается в *эпидидимисе* — специальном соединительно-тканном сосуде, где она хранится до момента *эякуляции* (семяизвержения). Поскольку этот процесс протекает непрерывно, количество семенной жидкости возрастает, и порой ограниченный объем эпидидимиса не способен вместить новые порции семени. В этом случае организм способен самопроизвольно освобождаться от скопившегося продукта — такое явление носит название *поллюции* и случается обычно по ночам. Поллюции — нормальная, здоровая и биологически целесообразная реакция молодого организма. Выбрасываемое семя освобождает место для новых порций продукции половых желез, а также предотвращает отравление организма продуктами распада собственного семени. Кроме того, не осознаваемое юношей половое напряжение, влияющее на активность всех сфер нервного и гормонального управления, благодаря поллюциям разряжается, и состояние организма нормализуется.

Половое влечение, просыпающееся у девушек и юношей на заключительных этапах пубертатного процесса, не имея выхода, часто перерастает в серьезную проблему. Многие из них находят для себя разнообразные способы разрядки, в том числе с помощью мастурбации. В прежние времена отношение к мастурбации было резко негативным, врачи уверяли, что она может вести к импотенции и психическим сдвигам. Однако исследования, проведенные во второй половине XX в., не подтвердили существования таких причинно-следственных связей, напротив, теперь принято считать, что мастурбация — нормальное и приемлемое средство снятия избыточного напряжения, когда нет другого способа удовлетворить половое влечение. Не следует поощрять, но и ни в коем случае не нужно упрекать или наказывать подростков за занятия мастурбацией — это само по себе пройдет без всяких последствий, после того как они станут взрослыми и начнут жить регулярной половой жизнью. Однако очень важно во всех случаях манипуляций с наружными половыми органами строго соблюдать меры гигиены и профилактики инфекционного заражения. Регулярное мытье рук и ежедневное проведение гигиенических процедур с наружными половыми органами — важнейшие привычки, которые должны усвоить мальчики и девочки.

Вопросы и задания

1. В чем состоят различия нервного и гуморального механизмов передачи информации в организме?
2. Какие типы биологически активных веществ имеются в организме человека?
3. Что такое клетка (орган)-мишень для гормонов?
4. Что такое внутренняя и внешняя секреция?

5. Как осуществляется связь нервной и гуморальной регуляции в организме?
6. Перечислите важнейшие железы внутренней секреции человека и их функции.
7. В чем особенности гормонального статуса новорожденного?
8. Какими гормонами регулируются процессы роста?
9. Что такое половое созревание с точки зрения деятельности желез внутренней секреции?
10. Как гормоны участвуют в организации функций в процессе деятельности и адаптации?

Раздел IV

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РЕБЕНКА

Глава 18. МЛАДЕНЧЕСТВО (от 0 до 1 года)

1-й год жизни ребенка — это период интенсивной адаптации организма к новым условиям существования, период формирования всех органов и систем. Именно в этом возрасте начинается развитие высших психических функций, ребенок учится активно взаимодействовать с окружающей средой.

Рост и физическое развитие

Скорость роста. В 1-й год жизни отмечаются наибольшая скорость роста тела в длину и темп нарастания массы тела. Если новорожденный имеет длину около 50 см, то к году он достигает обычно 80 см, т.е. увеличивается более чем на 50%. Еще существенно изменяется масса тела: при рождении она составляет в среднем 3,0—3,5 кг, а к концу 1-го года жизни достигает 10 кг и более, т.е. примерно утраивается. В последующие годы до начала пубертатного скачка роста таких темпов более не наблюдается: ежегодная прибавка массы тела составляет примерно 1,5—2,0 кг и длины — 4—5 см.

Скелетно-мышечная система. Костный скелет ребенка 1-го года жизни имеет множество особенностей. Так, череп ребенка резко отличается от черепа взрослого по форме: у ребенка имеются очень большая черепная часть и малая лицевая. Кости черепа новорожденного еще не срослись, между ними находятся места, покрытые перепончатой соединительной тканью, малый родничок зарастает к 2—3 мес, а большой — к 12—15 мес жизни. Однако окончательно черепные швы срастаются лишь к 3—4 годам, а иногда позже. В 1-й год жизни отмечается наиболее высокий темп роста костей черепа. Очень крупная голова новорожденного ребенка при слабо развитой тонической мускулатуре не может долго удерживаться в вертикальном положении. Только через 2—2,5 мес после рождения ребенок начинает самостоятельно поднимать и удержи-

вать головку. Слабое развитие мускулатуры не позволяет также ребенку принимать сидячую и стоячую позу — тоническая мускулатура интенсивно развивается в первый год жизни как морфологически, так и функционально, и это обеспечивает возможность сидеть в полугодовалом возрасте и возможность прямохождения в годовалом возрасте. В динамике развития тонической скелетной мускулатуры четко выражен краниокаудальный градиент: вначале созревают мышцы шеи (2,5—3 мес), затем мышцы туловища (5—6 мес) и рук, и, наконец, мышцы таза и ног (11—12 мес).

Мышечная активность. В первые недели после рождения мышцы ребенка выполняют почти исключительно произвольные и главным образом хаотичные движения. При этом тонус мышц-сгибателей намного превышает тонус мышц-разгибателей, что приводит к формированию специфической позы новорожденного. Энергетический «запрос» мышц в этот период невелик, а наибольшую работу производят мышцы челюстей и щек, выполняющие акт сосания, но их небольшая масса не требует значительных затрат энергии. Ко 2—3-му месяцу жизни (иногда несколько раньше) появляются первые признаки тонической активности мышц спины и шеи, благодаря которым ребенок начинает удерживать в вертикальном положении голову. Поначалу эта задача для ребенка очень трудна. Победа над силами гравитации требует существенных мышечных энергозатрат, которые в течение года постепенно увеличиваются, но остаются сравнительно небольшими, так как еще мала масса скелетных мышц, они слабо обеспечены окислительными ферментами. По оценкам физиологов, энергопродукция у ребенка 1-го года жизни при максимальной мышечной активности примерно в 3—4 раза превышает уровень основного обмена.

Зубы. 1-й год жизни — время появления первой смены, или так называемых «молочных» зубов. Обычно сначала (в 6—8 мес) прорезываются первые нижние и верхние резцы, затем вторые резцы (9—12 мес). К концу 1-го года жизни у ребенка обычно бывает 7—8 зубов. В то же время в сроках прорезывания молочных (а затем и постоянных) зубов наблюдается очень большое индивидуальное разнообразие. В последние годы появилось немало публикаций об измененном порядке прорезывания зубов. В настоящее время трудно сказать, связано это просто с увеличением числа наблюдений или так проявляются неблагоприятные последствия экологических условий и накопление в популяциях генетических нарушений.

Метаболизм и вегетативные функции

Энергозатраты ребенка 1-го года жизни существенно меньше, чем в последующие периоды, поскольку у него еще не развиты скелетные мышцы, которые требуют для своей деятельности боль-

ше всего энергии. Кроме того, именно на 1-й год жизни человека приходится становление окислительных систем во многих паренхиматозных органах (в частности, печень и почки), что обуславливает значительные изменения теплопродукции организма.

Основной обмен. В течение первых 3—5 дней жизни масса тела новорожденного снижается, что связано с переходом на новый тип питания, удалением излишней воды из организма и расходом накопленных в последние 2 мес внутриутробной жизни запасов питательных веществ — гликогена и жиров. Этот процесс сопровождается значительным повышением интенсивности основного обмена. Период бурного роста, который охватывает 3—4 мес жизни младенца, также сопровождается увеличением основного обмена. К концу 1-го года жизни продолжается увеличение основного обмена, его величины достигают максимальных значений (в расчете на единицу массы тела) за всю индивидуальную историю жизни. Увеличение интенсивности основного обмена в течение первого года жизни ребенка связывают с уменьшением объема межклеточного пространства в большинстве тканей. Если у новорожденных детей в покое интенсивность потребления кислорода на единицу массы тела составляет 5,0 мл O_2 /кг*мин, а у детей годовалого возраста — 8,2 мл O_2 /кг* мин, то при пересчете на единицу активной клеточной массы получается, что новорожденный потребляет 9,0 мл O_2 /кг-мин, а годовалый — 10,9 мл O_2 /кг*мин. Следовательно, по крайней мере на этом этапе онтогенеза, интенсивность обмена на единицу активной клеточной массы практически не меняется. В этом возрасте ребенок в спокойном состоянии натошак вырабатывает столько энергии, что ее хватило бы на непрерывное свечение лампочки 25 Вт. Если же ребенок кричит и ему холодно, то количество вырабатываемой энергии может увеличиться только в 2—3 раза (для сравнения: у взрослого это увеличение может достигать 20—30 раз).

Терморегуляция. В младенческом возрасте формируются основные терморегуляторные реакции организма. С одной стороны, жировая ткань, расположенная в подкожной клетчатке, служит хорошим теплоизолятором, предотвращая избыточную отдачу тепла с относительно большой поверхности тела ребенка. С другой стороны, активация химической терморегуляции (т.е. продукции тепла за счет интенсификации окислительных процессов во внутренних органах и скелетных мышцах) требует дополнительного количества жира в качестве субстрата окисления. В этом возрасте в организме ребенка функционирует специальная *бурая жировая ткань*, насыщенная митохондриями и служащая для обогрева крупных сосудов, расположенных вдоль позвоночника. В течение 1-го года жизни реакции химической терморегуляции (т.е. активация теплопродукции при охлаждении) постепенно дополняются реакциями физической терморегуляции, более экономичными и спе-

циализированными. В первую очередь они связаны с формированием сосудодвигательных реакций, определяющих тонус поверхностно расположенных сосудов в зависимости от температуры среды. Повышение тонуса сосудов (*вазоконстрикция*) уменьшает кожный кровоток и способствует удержанию тепла в организме при охлаждении. При высокой температуре, напротив, проявляется снижение тонуса сосудов (*вазодилатация*). Сосудодвигательные реакции в этом возрасте еще несовершенны, а комфортная температура для ребенка первого года жизни составляет около 33°. Поэтому дети практически все время должны находиться в одежде, которая защищает тело от потери избыточного количества тепла. В то же время одежда не должна препятствовать нормальному теплообмену и влагообмену, чтобы у ребенка не развивались опрелости и не происходила неадекватная адаптация к искусственному теплу. Увеличение размеров тела в этом возрасте весьма существенно сказывается на процессах терморегуляции, постепенно изменяя условия теплообмена организма со средой.

Гормональный статус. Большинство желез внутренней секреции начинают функционировать еще до рождения, и первым серьезным испытанием для всей системы биологической регуляции организма является момент родов. Родовой стресс — важный пусковой механизм для многочисленных процессов адаптации организма к новым для него условиям существования. Любые нарушения и отклонения в работе регуляторных нейроэндокринных систем, происшедшие в процессе рождения ребенка, могут оказывать серьезное влияние на состояние его здоровья в течение всей последующей жизни.

Первая — срочная — реакция нейроэндокринной системы плода в момент родов направлена на активацию метаболизма и внешнего дыхания, которое внутриутробно вообще не функционировало. Первый вздох ребенка — важнейший критерий живорожденности, но сам по себе он является следствием сложнейших нервных, гормональных и метаболических воздействий. В пуповинной крови отмечается очень высокая концентрация гормонов «срочной» адаптации — адреналина и норадреналина. Эти гормоны не только стимулируют энергетический обмен и распад в клетках жиров и полисахаридов, но и тормозят образование слизи в ткани легких, а также стимулируют дыхательный центр, расположенный в стволовом отделе головного мозга. В первые часы после рождения быстро нарастает активность щитовидной железы, гормоны которой также стимулируют обменные процессы. Все эти гормональные «выбросы» осуществляются под контролем гипофиза и гипоталамуса. Дети, родившиеся путем кесарева сечения и поэтому не испытавшие естественного родового стресса, имеют значительно более низкий уровень гормонов в крови, что отрицательно сказывается на функции их легких в течение первых суток.

Питание и пищеварение. В первые дни жизни новорожденный питается молозивом, которое существенно отличается от материнского молока по своему составу. В частности, в нем очень много стафилококкового антитоксина. Кроме того, молозиво содержит витамины, гормоны и антитела, а также наполненные жиром клетки крови — лимфоциты. Это связано с необходимостью повысить иммунитет, обеспечить сопротивляемость организма к внешним воздействиям.

Зрелое женское молоко появляется на 2—3-й неделе и обладает довольно высокой активностью протеолитических и липолитических ферментов, которые помогают процессу переваривания, так как в желудке новорожденных еще не полностью сформированы железы, вырабатывающие собственные пищеварительные ферменты.

На раннем этапе, соответствующем периоду молозивного вскармливания, желудок характеризуется малыми размерами и низкой секреторной активностью железистого аппарата, малой подвижностью. Все эти факторы играют положительную роль в усвоении материнского молока. На следующем этапе, продолжающемся до конца молочного вскармливания, резко увеличиваются размеры желудка, повышается его секреторная активность и подвижность, выявляются особенности секреции основных протеолитических ферментов, обеспечивающих наилучшее приспособление к перевариванию молока. Переход на смешанное питание сопряжен с резкой активизацией секреции соляной кислоты и пепсиногена, снижением значения авторегулирующих механизмов, существенным увеличением массы желудка за счет развития мышечного слоя. Тем не менее активность желудочных желез, вырабатывающих соляную кислоту и ферменты, остается намного ниже, чем в дальнейшем, зависит от состояния кишечной стенки, так как в этом возрасте пристеночное пищеварение преобладает над полостным. Это обусловлено меньшей активностью пищеварительных ферментов, которая в значительной мере компенсируется каталитическим действием микроворсинок на поверхности клеток кишечного эпителия.

Выделительная функция. Почки новорожденного имеют признаки морфологической и функциональной незрелости. Так, диаметр клубочков невелик, фильтрующая поверхность значительно снижена, канальцы коротки, а петли Генле недоразвиты. Зато количество клубочков на единицу поверхности у новорожденных достигает 50, у ребенка 7—8 мес — около 20, тогда как у взрослого — только 7—8. Почки ребенка позволяют ему, несмотря на незрелость аппарата, поддерживать устойчивые параметры водно-солевого гомеостаза, но только в условиях относительного покоя организма при сбалансированном питании и водопотреблении. В экстремальных ситуациях (например, при заболеваниях) детская

почка функционирует значительно менее надежно, чем взрослый орган, что нередко приводит к гомеостатическим сдвигам.

Кровообращение. Интенсивный метаболизм младенцев определяет высокий процент крови относительно массы тела в младенческом возрасте. У новорожденных количество крови составляет 14 % всей массы, к концу 1 года — 10,9 %. (Для сравнения в 14—15 лет — 7 %.) Необходимость в интенсивном снабжении кислородом определяет также высокое содержание гемоглобина в крови новорожденных, которое постепенно к концу младенческого возраста снижается. Количество крови, выбрасываемой в аорту сердцем новорожденного при одном сокращении составляет всего 2,5 см³, а к первому году оно увеличивается в 4 раза, что связано с ростом массы сердца, которая к концу первого года удваивается.

Кругооборот такого большого объема крови обеспечивается высокой частотой сердечных сокращений — 140 уд/мин (у взрослых около 70).

Высокая частота сердечных сокращений определяется особенностями регуляции сердечной деятельности на этом этапе развития. Хотя к моменту рождения ребенка в сердечной мышце выражены нервные окончания как симпатического, так и парасимпатического блуждающего нерва, влияние последнего значительно снижено, преобладает симпатический тонус.

Дыхательная система. Существенными особенностями характеризуется и дыхательная система младенцев. В связи с особенностями скелета (малый изгиб и почти горизонтальное положение ребер) у младенцев преобладает диафрагмальный тип дыхания с незначительным участием межреберных мышц. Дыхание младенцев частое, и во время бодрствования число дыхательных движений за 1 мин достигает 50—60. Такая частота обеспечивает высокий уровень легочной вентиляции.

К моменту рождения ребенка формирование механизмов регуляции дыхательной функции еще не завершено. Об этом свидетельствует большая изменчивость частоты, глубины и ритма дыхания младенцев.

Иммунитет. Плод получает от матери значительное количество гамма-глобулинов, которые успешно проходят через плацентарный барьер. Эта неспецифическая защита оказывается вполне достаточной для первоначального столкновения организма новорожденного с микрофлорой окружающей среды. К тому же у новорожденного отмечается «физиологический лейкоцитоз» — количество лейкоцитов в крови примерно в 2 раза выше, чем у взрослых. Очевидно, что это — одно из проявлений видовой адаптации к столкновению с новыми для только что появившегося на свет организма условиями существования. Тем не менее многочисленные Т- и В-лимфоциты новорожденных детей представляют собой незрелые формы и не способны в необходимом количе-

стве синтезировать защитные белки — глобулины и интерферон. Фагоциты новорожденных также недостаточно активны. Вследствие этого детский организм часто отвечает на проникновение чужеродных микроорганизмов генерализованным воспалением — сепсисом, причем нередко возбудителем, приводящим к возникновению этого опасного для жизни состояния, является бытовая микрофлора, совершенно безопасная для взрослого. Дело в том, что взрослый организм уже имеет достаточную иммунную память, и эта микрофлора успешно подавляется его специфическими иммунными системами. В организме новорожденного специфические иммунные системы еще не сформированы, иммунной памяти практически нет, а неспецифические механизмы также еще не созрели. Поэтому на этапе новорожденности столь большое значение имеет кормление материнским молозивом и молоком, в котором содержатся значительные количества иммунореактивных веществ, помогающих организму ребенка адаптироваться к окружающей микрофлоре.

В возрасте от 3 до 6 мес иммунная система ребенка реагирует на вторжение микробов и вирусов, но практически не формируется иммунная память. В этот период мало эффективны прививки (их приходится повторять по 2—3 раза), атипично проходят некоторые заболевания, не оставляя после себя стойкого иммунитета (корь, коклюш).

Развитие движений. Движения ребенка первых месяцев жизни прежде всего направлены на регуляцию положения головы, туловища, рук и ног, обеспечивающих поддержание позы. Можно проследить, как последовательно от 1-го к 12-му месяцу появляются новые движения, как двигательные реакции становятся целенаправленными, как появляются и совершенствуются осознанные движения. Однако следует помнить, что индивидуальные сроки развития движений определяются не только врожденной программой, но и целенаправленной работой взрослых с ребенком.

1 мес: первые попытки удержать голову при вертикальном положении тела; беспорядочные движения рук и ног на фоне повышенного мышечного напряжения; произвольные ползательные движения.

2 мес: поворачивает голову и глаза за движущимся предметом, следит взглядом за предметом в горизонтальном, вертикальном направлениях и по кругу, имитирует мимику взрослого, поднимает голову и грудь, когда лежит на животе.

3 мес: ребенок поворачивает голову в сторону источника звука; переворачивается со спины на бок и на живот; при поддержке за подмышку стоит, но при этом подгибает ножки; произвольное ползание исчезает; начинает удерживать предметы «в кулачке»; ребенок моргает, если объект приближается к лицу; может находиться в вертикальном положении (при поддержке) до 6 мин;

переворачивается; движения рук более свободны и целесообразны; младенец смотрит на свои руки; стремится удержать предмет в поле зрения.

4 мес: исчезает гипертонус мышц; ребенок уверенно держит голову, когда его поднимают, поворачивается со спины на живот, сидит при поддержке за обе руки; хватает и удерживает игрушки; открывает рот, когда подносят ложку с едой, бутылочку.

5 мес: ребенок самостоятельно сидит 1—5 мин; поворачивается с живота на спину; способен удерживать одновременно по предмету в каждой руке; хватательные движения, направленные к цели, — «петлеобразные», с частыми промахами; увеличивается число движений, когда кисть руки раскрывается до захвата предмета; движения еще не точны, раскоординированны, связаны со значительным мышечным напряжением.

6 мес: самостоятельно сидит; возникает зрительный контроль за движениями рук; повышается точность хватательных движений, снижается мышечное напряжение.

7 мес: ребенок способен совершать попеременные шагательные движения (при поддержке за подмышки); сидит; тянет в рот бутылочку, ложку, игрушки; бросает и поднимает игрушки; поднимается на четвереньки; встает на колени, держась за опору; перекладывает предметы из одной руки в другую; тянется к взрослому на руки; следит за движениями руки.

8 мес: младенец встает с поддержкой; ходит с опорой; сидит, самостоятельно садится и ложится; появляются координированные движения двух рук (хлопает в ладоши); наблюдаются первые попытки сложить кубики, пирамидку; попытки передвижения ползком.

9 мес: отмечаются попытки стоять без опоры и ходить без опоры; младенец садится из вертикального положения, встает на колени; снижается мышечное напряжение, совершенствуются движения рук, ног, туловища, но все движения еще не очень точны, нестабильны; ребенок начинает ходить с опорой; собирает игрушки, складывает; стучит для извлечения звука.

10 мес: младенец встает с опорой, стоит без опоры; ходит с опорой (первые шаги без опоры); улучшается координация движений рук; появляется захват пальцами; ребенок активно играет с игрушками.

11—12 мес: ходьба без опоры; ребенок поднимается без опоры, садится, ложится, встает, координирует движения рук; наблюдается предварительная подготовка пальцев рук к форме объекта; «петлеобразные» с промахами движения сменяются более точными с «прямым приближением» к предмету; появляются хватательные движения вслепую за счет предварительного нацеливания.

Таким образом, в течение первого года жизни идет интенсивное формирование всех структур системы управления движения-

ми, формирование и развитие опорно-двигательного аппарата, что является основой для новых преобразований на следующем этапе развития.

Созревание мозга и поведение

Этот период развития характеризуется чрезвычайно интенсивным и быстрым созреванием мозговых структур, что определяет существенные изменения поведения ребенка, его общение с окружающим миром, формирование начальных процессов его познавательной деятельности. На этом этапе выделяют три периода, существенно различающихся по степени зрелости мозга и его функциональным возможностям: период новорожденности (первые 10 дней), первое полугодие и второе полугодие.

Период новорожденности. К моменту рождения ребенка наиболее зрелыми являются спинной мозг и ствольные структуры головного мозга, обеспечивающие жизненно важные функции и необходимые приспособительные рефлексы: пищевые (сосание), защитные (мигание, зажмуривание) и др.

В период новорожденности выражены и рефлексы, свойственные животным (атавистические). Это рефлексы Бабинского (отведение большого пальца ноги при раздражении подошвы), хватательный рефлекс, настолько сильный, что ребенок может удерживать собственный вес, и др. Хватательный рефлекс необходим для многих детенышей животных, цепляющихся за шерсть матери при ее передвижениях и прыжках. В течение первых недель жизни атактичные рефлексы быстро угасают. Их наличие у новорожденных связано с незрелостью коры полушарий, наиболее поздно созревающей в онтогенезе.

Кора больших полушарий новорожденных характеризуется наличием слабо дифференцированных нейронов с малым числом слабо ветвящихся дендритов и соответственно небольшим числом синаптических контактов. Наиболее зрелыми являются пирамидные клетки проекционных отделов коры больших полушарий. Вставочные нейроны, обеспечивающие межнейрональные взаимодействия, не сформированы. Незрелость коры больших полушарий определяет отсутствие состояния спокойного бодрствования с присутствием ему альфа-ритмом, отражающим циркуляцию возбуждений по нейронным сетям. В шкале функциональных состояний преобладает сон и присутствуют лишь кратковременные периоды бодрствования, связанные либо с необходимостью удовлетворения биологической потребности, либо определены дискомфортом, вызванным внешними, а чаще внутренними раздражителями. Активное бодрствование ребенка характеризуется низкоамплитудной плоской активностью, в которой трудно вычлени-

определенные ритмические составляющие. В ЭЭГ новорожденных в основном преобладают группы медленных волн, характерных для сна и отражающих активность глубинных структур мозга.

Сенсорные процессы. В соответствии с теорией системогенеза П.К. Анохина уже у новорожденных начинают функционировать определенные элементы коры больших полушарий, обеспечивающие контакты с окружающим миром, а именно проекционные области коры, воспринимающие сигналы внешнего мира. С первых часов жизни ребенка в зонах проекции на головке ребенка зрительной, слуховой и тактильной областей коры регистрируются вызванные потенциалы (ВП). У человека основным информационным каналом, создающим образ внешнего мира, является зрительный.

К моменту рождения зрительная проекционная кора имеет наибольшую по сравнению с другими корковыми зонами ширину. Миграция клеток в корковую пластинку осуществилась на 4—6-м лунных месяцах. Определенной степени развития достигают пирамиды нижних слоев (V и IV). Менее развиты, но уже функционируют непиримидные веретенообразные нейроны, которые воспринимают афферентную посылку и передают ее пирамидным клеткам.

Созревший к моменту рождения морфологический субстрат обеспечивает поступление зрительной информации в кору больших полушарий.

Реакция на зрительный стимул проявляется в наличии ВП, в котором присутствует начальный позитивный компонент (рис. 72). Наличие этого компонента, отражающего активность глубинных

ТИПОГРАФИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЗРИТЕЛЬНЫХ ВП НОВОРОЖДЕННЫХ

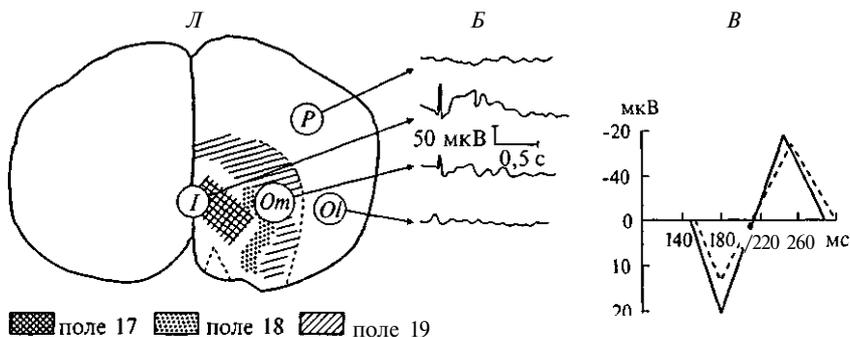


Рис. 72. Зрительные ВП новорожденного

Л — локализации отведений в полях 17—19 (*∕*, *Om*, *Of*) и за ее пределами (*P*); *Б* — соответствующие вызванные ответы. Видно, что максимальная амплитуда ВП в первичной проекционной зоне; вне зоны ответ не регистрируется; *В* — усредненные значения амплитудно-временных параметров позитивно-негативного ВП, зарегистрированного в первичном проекционном поле (сплошная линия) и во вторичных полях (пунктир)

слоев коры, свидетельствует о том, что в период новорожденности афферентный сигнал, так же как во взрослом мозге, поступает в IV слой, наиболее развитый в сенсорных зонах, и адресуется через созревшие к этому времени переключательные вставочные нейроны пирамидам нижних слоев зрительной коры. Ответ регистрируется строго локально в зрительной проекционной области — в поле 17, что подчеркивает модальную специфичность основного комплекса ВП новорожденного. Характерной особенностью коркового ответа на зрительный стимул является длительный латентный период (150—160 мс по сравнению с 40—50 мс в зрелом мозге), что отражает замедленность прихода информации в кору по еще не миелинизированным зрительным путям и определяет низкие оперативные возможности реагирующей системы.

Какие же операции начинают осуществляться с поступающей в кору зрительной информацией?

Важной для развития восприятия является рано сформированная чувствительность зрительной системы новорожденного к движущимся объектам. Движение входит также в число высокоэффективных возбудителей внимания, двигательными компонентами которого являются как скачкообразные саккадические, так и прослеживающие движения глаз — более совершенная форма глазодвигательной активности. Реакция на движение запускается наиболее рано созревающими рецепторами сетчатки, находящимися на ее периферии, и совершенствуется до 6-месячного возраста. С первых дней жизни отмечаются только горизонтальные следящие движения. В основном у новорожденных они носят асинхронный характер, и лишь иногда наблюдается содружественное движение глаз, говорящее о бинокулярной фиксации, обычно стабильно регистрируемой к 1 мес жизни.

Зрительное внимание. Характер глазных движений новорожденного и недостаточная зрелость коры больших полушарий свидетельствуют о том, что на этом этапе онтогенеза глазные движения опосредованы подкорковым зрительным центром — передним двуххолмием, играющим важную роль в зрительном внимании. Это так называемое «открытое» внимание. Следовательно, уже на раннем этапе онтогенеза глазные движения, как компонент внимания, обеспечивают обнаружение объекта и удержание его в поле зрения, продлевая таким образом контакт ребенка с предметом.

Функционирование канала обнаружения движущегося объекта базируется на созревающей структурной основе и имеет свои особенности. Движение предметов в поле зрения воспринимается клетками нижних (IV и V) слоев зрительной коры — детекторами движения. Поскольку созревание нервных элементов идет в направлении от глубины к поверхности, эти слои раньше включаются в деятельность. Процессы, развертывающиеся на этом уровне, имеют невысокую разрешающую способность, не могут

обеспечить детальный анализ предмета, а создают только общее представление о нем. Само движение предмета, когда все его отдельные части перемешаются в одном направлении и с одинаковой скоростью, способствует их первичной интеграции, объединению в единый недифференцированный образ объекта.

Коммуникативные отношения. На основе включения зрительного канала начинают строиться и коммуникативные отношения.

С первых часов и дней жизни устанавливается контакт «глаза в глаза». Лицо матери оказывается высоко значимым, предпочитаемым и рано распознаваемым раздражителем по сравнению с неживыми предметами. Отсутствие реакций ребенка на лицо матери настораживает и требует консультации детского невролога.

Раннее узнавание лица матери базируется на многих биологических и физиологических факторах. Прежде всего здесь действует, помимо зрительной, целый комплекс разномодальной информации — звуковой (голос), тактильной (телесный контакт, руки матери), обонятельной (запах). Кроме того, в лице сочетаются признаки, известные как эффективные возбудители внимания, такие как сложность конфигурации, упорядоченность черт, движение (обычно мать склоняется к ребенку или поднимает его к себе). Значимость движения подтверждается тем, что новорожденные даже при низкой остроте зрения преимущественно следят за тем движущимся изображением, которое больше всего напоминает лицо. Изображения с измененными чертами и контуры без деталей не вызывают столь заметный эффект.

На коммуникацию направлен и вокализационный компонент поведения новорожденного. Первая экспрессивная звуковая реакция — крик — информирует мать о состоянии ребенка и содержит призыв к удовлетворению базовых потребностей.

Таким образом, уже в период новорожденности закладывается основа процессов, определяющих развитие познавательной и коммуникативной деятельности ребенка.

Первое полугодие жизни. Первое полугодие жизни характеризуется чрезвычайно высокой чувствительностью к развивающим воздействиям внешней среды и рассматривается как сенситивный и критический период онтогенеза.

Созревание нейронного аппарата коры больших полушарий и развитие сенсорных процессов. Со 2-го мес жизни начинается стремительное лавинообразное увеличение количества синапсов в коре больших полушарий. Особенно активный синаптогенез приходится на период от 2 до 4 мес. В результате расширяется структурная основа для усиления и обогащения ощущений. Формирующиеся с момента рождения нейронные системы зрительной коры чувствительны к зрительной стимуляции и способны к ускоренному развитию под ее влиянием. У недоношенных детей, достигших возраста доношенных новорожденных и имевших уже зрительный опыт,

регистрировались более зрелые ВП, чем у детей, родившихся в срок. В период усиленного синаптогенеза отмечается особо высокая чувствительность и высокая пластичность. Под влиянием специфических зрительных раздражений эффективность синапсов повышается, их функционирование стабилизируется, незадействованные синапсы отмирают. Эксперименты на животных с полным или частичным лишением световой стимуляции наглядно продемонстрировали значимость внешнесредового фактора для развития. Блокада зрительного входа приводит к обеднению синаптического состава зрительной коры, недоразвитию дендритных разветвлений и шипикового аппарата. При выращивании котят в клетках с чередующимися черными и белыми полосами по горизонтали или вертикали дендритные сплетения располагались в плоскостях, перпендикулярных направлению полос. Таким образом, внешняя среда (в данном случае зрительная информация) формирует воспринимающий субстрат, регулируя количество и пространственную организацию синапсов и дендритов.

Зрительная сенсорная система, чрезвычайно важная для обеспечения контактов младенца с внешним миром, претерпевает существенные изменения в первом полугодии.

В первые месяцы жизни постепенно развивается способность зрительной фиксации объектов, введенных в поле зрения и остающихся неподвижными. Об особенностях восприятия неподвижных объектов можно судить прежде всего по характеру движений глаз, который свидетельствует о том, что воспринимается не весь предмет, а его отдельные признаки. Движения концентрируются около углов, контрастных границ, выраженной структуры поверхности, т.е. начинают выделяться отдельные свойства предмета.

Регистрация ВП на структурированное черно-белое изображение — шахматный рисунок — показала, что амплитуда их компонентов увеличивается по сравнению с ответом на диффузный за свет зрительного поля, что указывает на включение процессов выделения контура и контраста, на наличие реакции на структуру предъявляемого объекта, которому адресовались глазные движения. Шахматные ячейки разного размера обуславливают изменение амплитуды начальной позитивности ВП-компонента, чувствительного к этой характеристике. Все это имеет важное значение для дальнейшего развития зрительной функции. На основе информации о контрастных границах, краях, углах подготавливается восприятие структуры и формы. Появляющиеся бинокулярная конвергенция, ощущение расстояния до предмета, удаленности его отдельных частей обеспечивают восприятие трехмерности, объема (так называемое стереоскопическое зрение). Эти процессы требуют более высокой разрешающей способности зрительной системы. Начинает функционировать зрительный канал опознания

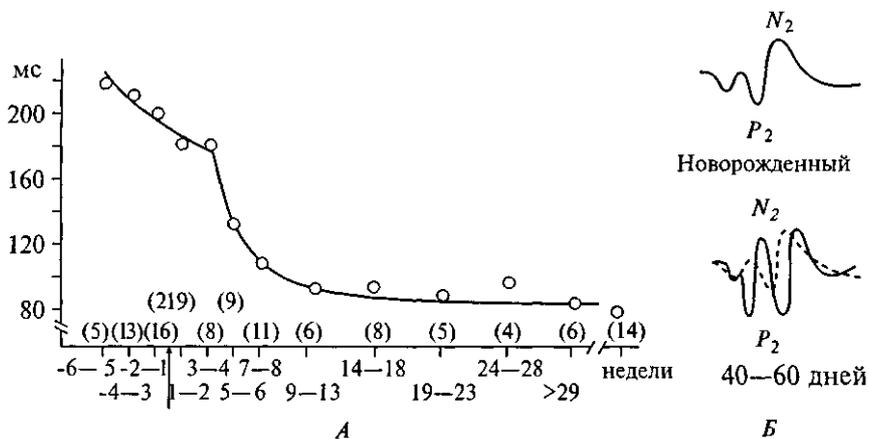


Рис. 73. Изменение параметров ВП в первые 2—3 мес жизни
 А — динамика латентного периода ответа с возрастом. На горизонтальной оси — возраст в неделях. Цифры с минусом — недели до нормального срока рождения ребенка. Стрелка — момент рождения; Б — сокращение временных параметров и усложнение формы ВП. Пунктиром нанесен ВП новорожденных. P_2 , N_2 — позитивный и негативный компоненты ВП соответственно

объектов с механизмами, способными осуществлять все более глубокий и тонкий анализ различных признаков.

2—3-месячный возраст является важнейшим этапом развития ребенка 1-го года жизни. Для него характерно ускоренное формирование сенсорных процессов, на что указывают структурные и функциональные характеристики зрительной системы, а также поведение ребенка. Изменяется ВП на зрительный стимул. Существенно укорачивается его латентный период как результат миелинизации зрительных путей. Это приводит к ускорению передачи информации в кору больших полушарий и расширению оперативных возможностей системы. Усложняется форма ответа, в его состав включаются дополнительные компоненты, что отражает усложнение процессов обработки информации (рис. 73).

Формирование интегративных процессов и поведение младенца. Ускоренное формирование с 3 мес звездчатых короткоаксонных нейронов — клеток-интеграторов, ансамблевой организации, а также увеличение объема волокнистого компонента способствуют объединению структур зрительной коры в систему. Проявлением системного функционирования нервных элементов является синхронизация и ритмизация биопотенциалов. В 3-месячном возрасте в состоянии спокойного бодрствования в зрительной коре обнаруживается ритмическая активность 4—6 колебаний за 1 с, которая рассматривается как незрелый вариант основного ритма

ЭЭГ взрослого — альфа-ритма. Альфа-ритм, выполняя функцию объединения нервных элементов, обеспечивает внутрианализаторную интеграцию. Эти новообразования, сочетающиеся с ростом вертикальных пучков волокон к поверхностным слоям, способствуют активному взаимодействию и объединению двух основных каналов зрительного восприятия — обнаружения предметов и опознания их отдельных признаков.

С 3-месячного возраста совершенствуются процессы выделения признаков. К 3—4 мес созревает система восприятия цвета, ее желто-синий компонент; к 4—5 мес — красно-зеленый. Эта особенность цветового восприятия должна быть учтена при ознакомлении ребенка с игрушками. С 3—4 мес проявляется и нарастает способность различения объектов по размеру. Эти признаки выступают как определяющие характеристики предмета. Хорошим показателем развития ребенка является возможность различения отдельных признаков, оцениваемая по двигательным компонентам внимания — переводу взгляда на объект и его фиксации, во время которой осуществляются созревшие к данному возрасту операции обработки информации о фиксированном взором объекте. Для выяснения того, какие признаки может выделять зрительная система, используются следующие пробы. Ребенку многократно показывают пару одинаковых предметов, которые он сначала рассматривает, а затем постепенно теряет к ним интерес — происходит привыкание к объекту. Затем этот же предмет показывают в паре с другим, отличающимся от привычного каким-нибудь одним исследуемым свойством. При появлении фиксации взора на новом предмете можно сделать, по крайней мере, три важных вывода. Первый — что измененный признак улавливается ребенком, и значит, последовательно меняя характеристики стимула, можно определить весь набор признаков, которые способна выделить зрительная система на этом этапе развития. Второй вывод свидетельствует о том, что появилась возможность запечатления образов предметов, включения их в память, в индивидуальный опыт как базу для развития познавательных процессов и основу для сравнения объектов. И третий — *возбудителем внимания, о котором судят по фиксации взора, становится новизна*, вернее, рассогласование характеристик нового стимула и знакомого, запечатленного в памяти. Чувствительность к новизне, стремление к разнообразию удовлетворяют развивающуюся познавательную потребность и стимулируют восприятие предметов внешнего мира.

Если на стадии анализа движущихся объектов в период новорожденности и в первые месяцы жизни само движение, новые локализации одного и того же предмета прежде всего привлекали внимание, и изменения других признаков не замечались ребенком, то с 2—3-месячного возраста как новые локализации, так и новые неподвижные предметы равным образом становятся возбу-

дителями внимания. Важным новообразованием поведенческого репертуара младенца 2—3 мес жизни становится эмоциональное сопровождение. Это комплекс оживления, включающий в себя движение, улыбку, гуление и имеющий четкую позитивную окраску. С 3-месячного возраста весь комплекс поведенческих реакций направлен на новый объект и способствует его фиксации, а эмоциональная реакция оживления, базирующаяся на предпочтении новизны, — обеспечивает восприятие объекта, удлиняя время общения ребенка с объектом. В ЭЭГ при внимании начинает регистрироваться увеличенный по амплитуде тета-ритм, рассматриваемый как проявление эмоциональной активации.

Формирование зрительной функции является важным фактором развития ребенка. Исследование эффектов ранней зрительной депривации у детей с врожденной катарактой выявило на основе тестирования зрительных способностей и сроков появления незрелого варианта альфа-ритма отставание в развитии зрительной функции и ходе созревания каудальных отделов коры. Помимо этого обнаружилось, что дети, лишенные раннего зрительного опыта, отстают в общем психомоторном и социальном развитии. Их поведение характеризуется либо выраженным избеганием контактов, страхами, пассивностью, либо, напротив, чрезмерной расторможенностью, неуправляемостью, агрессивностью. В последнем случае можно предполагать задержку в развитии коркового контроля поведения. Многие характеристики зрительного поведения коррелируют с важными способностями и умениями даже в дошкольном возрасте. Так, возможность различения признаков предметов в 3-месячном возрасте достоверно и положительно коррелирует с показателями шкалы умственного развития в 2 года; проявление зрительного внимания (длительность фиксации) в 5—7 мес надежно предсказывает уровень интеллектуального развития в 5 и 7 лет.

Структурно-функциональной основой расширения возможностей опознания объектов внешнего мира является вовлечение в сенсорные функции непроекционных областей коры — моторной и ассоциативной зон. Основной комплекс ВП, реактивный к характеристикам объекта, начинает регистрироваться в заднеассоциативной, центральной областях, премоторной коре. Включение в зрительную функцию областей моторной коры, связанных с глазодвигательными процессами, обеспечивает более совершенную регуляцию и контроль двигательного компонента внимания. Вначале эти процессы осуществлялись за счет двуххолмных связей. Интенсивно созревающая после 3-го месяца теменная кора становится структурной основой так называемого «скрытого внимания», облегчающие эффекты которого не связаны с видимыми движениями глаз. Активное функционирование теменной области подтверждается данными о значительном нарастании в ней мета-

болизма в период от 3 до 6 мес жизни. В зрительной и теменной корковых зонах в этот период происходит ранний прирост ширины коры (3 мес), увеличение объема пирамид, развитие вставочных нейронов (6 мес).

Интегративные системные процессы обеспечиваются внутри- и межанализаторными связями, развитием ассоциативных областей коры больших полушарий, прежде всего заднеассоциативных структур (височно-теменно-затылочная область), нейроны которых способны отвечать на раздражения разных сенсорных модальностей при наибольшем вкладе зрительной. С вовлечением заднеассоциативных областей коры в зрительное восприятие связываются такие операции, как запоминание зрительной информации, выработка эталонов, индентификация изображений. Возможность их осуществления появляется с 3-месячного возраста. Структурное созревание заднеассоциативных структур в онтогенезе определяет совершенствование воспринимающей системы. В этих корковых областях наиболее интенсивно растут специфичные для ассоциативных структур верхние слои коры, которые являются ансамблеобразующими, имеют более выраженные горизонтальные связи и участвуют в интегративных процессах. В ассоциативных зонах быстрее развиваются группировки нейронов, которые имеют более сложный и разнообразный состав по сравнению с нейронными объединениями проекционной коры.

Развитие речевой функции. С развитием ассоциативных областей коры, в состав которых входят речевые центры, связано развитие коммуникативной речевой деятельности.

Речь формируется на основе развивающихся сенсорных механизмов внимания и эмоционально-потребностной сферы ребенка в процессе его общения со взрослым. Уже на первой неделе жизни обращение к ребенку, особенно с негромкой речью, приводит к успокоению, первичному сосредоточению и постепенному переходу с 2 мес к попыткам подражательных звуковых реакций, возникающих на основе эмоционального возбуждения. Помимо этого возникает и повторение собственных звуков.

Развивающиеся гуканье и гуление включают определенные артикуляционные процессы, отрабатывается связь слуховых ощущений с комплексом кинестетических, кинетических и тактильных раздражений. Нечеткий звуковой состав вокализаций постепенно дифференцируется и специализируется.

Расцвет гуления приходится на 4—6 мес и плавно переходит в лепет, когда ребенок начинает подолгу произносить различные слоги самопроизвольно и подражательно.

Контакты со взрослым, особенно с матерью, имеют первостепенное значение для развития ребенка в этом возрасте.

Второе полугодие жизни. К 6-месячному возрасту отмечаются прогрессивные изменения в строении проекционных и непроек-

ционных отделов мозга. Скачком увеличивается ширина коры, нарастает синаптогенез; так что число синапсов в 6—8 мес превосходит имеющееся во взрослом мозге, увеличивается объем волокон, появляются гнездные группировки нейронов, что способствует совершенствованию обработки информации.

Системное взаимодействие мозговых структур и развитие воспринимающей функции мозга. Важную роль в развитии психических функций ребенка играет формирование длинных ассоциативных связей между областями коры, что создает условия для их взаимодействия. В ознакомление с объектами внешнего мира включаются дополнительно к зрительной другие анализаторные системы. К раннему рассматриванию сначала предметов, потом своих рук начинает присоединяться дотягивание, толкание игрушек, а с момента раскрытия ладони — захватывание, ощупывание, что существенно дополняет чисто зрительные впечатления и облегчает опознавание предметов. Так, младенцы во втором полугодии и особенно к 8-месячному возрасту после ощупывания невидимого предмета быстрее и точнее узнают его с помощью зрения. Звучащие предметы легче привлекают внимание ребенка и активнее фиксируются.

К 6-месячному возрасту происходят существенные изменения в моторной сфере. Ребенок садится, что расширяет видимое пространство. Развитие координационных возможностей, движение обеими руками способствует манипуляции с предметами, более глубокому ознакомлению с окружающим миром. Шестимесячный возраст рассматривается как своеобразный рубеж, преодоление которого открывает перед ребенком новые возможности.

Системное взаимодействие различных мозговых структур расширяет функциональные возможности восприятия. Это особенно четко видно на примере развития способности к выделению формы объектов, которая имеет более сложную динамику по сравнению с восприятием других признаков и проходит несколько стадий, когда осуществляется переоценка относительной значимости разных признаков для опознавания и узнавания предмета. Скачок в выделении формы приходится на 8-месячный возраст, когда этот признак начинает преобладать над признаком размера, и различия предметов по размеру становятся для младенцев не столь значимыми, как различия по форме. Сущность качественного скачка состоит в том, что на раннем этапе развития восприятия при независимом функционировании каналов обнаружения и опознавания воспринималась либо общая недифференцированная форма предмета, либо его отдельные признаки. Во втором полугодии происходит интенсивное созревание заднеассоциативных структур, нейронный аппарат которых нацелен на опознавание сложных изображений. За счет интегративных процессов к концу 1-го года постепенно возникает единый механизм восприятия формы

как интегрированного целого, в которое включены его части, связанные определенным образом. С 6-месячного возраста новые предметы получают явное преимущество перед новыми локализациями знакомых объектов. Специальные эксперименты с короткими точечными засветами контура изображения показали, что интеграция этой информации, необходимая для узнавания, осуществляется к концу 1-го года жизни. Целостность восприятия становится в определенной степени независимой от изменения отдельных признаков. Если 6-месячные младенцы воспринимали изменения любого признака предмета как появление нового объекта, то к 9-му месяцу формируется инвариантность узнавания формы. Возникновение этой способности указывает на то, что восприятие меньше зависит от физических характеристик стимула, а начинает основываться на сущностных характеристиках предмета — это свидетельствует о включении в процесс восприятия интеллектуального компонента. После 8 мес возможна начальная невербальная категоризация — группировка предметов с варьирующими, но сохраняющими закономерную связанность признаками и узнавание их как однотипных.

Во втором полугодии жизни параметры поздних компонентов ВП изменяются в зависимости от таких несенсорных характеристик стимулов, как различная вероятность их предъявления, ситуация узнавания, эмоциональное состояние. Реактивными к этим характеристикам наряду со зрительными областями становятся переднеассоциативные структуры — лобные отделы коры, где к концу 1-го года жизни наблюдается мощный синаптогенез. Объем пирамид в нижних слоях лобной коры увеличивается к 6 мес, в верхних — к году. Результатом структурных изменений в коре больших полушарий является возможность восприятия сложных характеристик объекта (упорядоченность, связанность). Формируется осознанное восприятие, включающее оценку значимости стимула, его классификацию.

Внимание и поведение. К 8-му месяцу жизни проявляются элементы произвольности и внутренней регуляции. Ребенок на основе индивидуального опыта направляет свое внимание (фиксирует взгляд) на прогнозируемое место появления движущегося предмета, исчезнувшего за ширмой, или экспериментатора, спрятавшегося за дверью после игры. Этот вид поведения существенно отличается от наблюдавшегося в первом полугодии жизни, когда исчезнувший из поля зрения предмет исчезал из поля сознания младенца.

Регуляция поведения развивается в общении со взрослыми, и существенная роль в этом процессе принадлежит речевой функции. Во втором полугодии жизни в процессе общения со взрослым как носителем определенного языка лепет младенца начинает приобретать языково-специфические черты. Эмоциональное

общение с ребенком способствует развитию у него не только коммуникативных способностей, но и понимания речи. Показ и называние младенцу предметов и действий, осуществляемых с ними, приводит к формированию у него связи между названием предмета и самим предметом к концу 1-го года жизни. Ребенок, показывая предмет, пытается его называть. Формируются первые речевые реакции. К 1 году активный словарь ребенка может содержать от 10 до 15 слов.

В условиях коммуникации развиваются и познавательные процессы на сенсорном (восприятие) и моторном (действие) уровнях. Первый год жизни особенно отличается по своей результативности в отношении функциональных «приобретений» в перцептивно-когнитивно-эмоциональной сфере. Все эти приобретения в младенческом возрасте базируются на развитии зрительного восприятия, обеспечивающего начальное ознакомление с внешним миром и накопление индивидуального опыта.

Динамика изменения поведенческих реакций младенцев, его функциональных возможностей в обеспечении контактов с внешней средой отражены в табл. 15.

Таблица 15

**Психофизиологическая характеристика развития ребенка
1-го года жизни**

Возраст	Функции
Первые часы и дни	Контакт «глаза в глаза» (реакция на лицо матери), реакция испуга на сильные раздражители, крики, эпизоды фиксации движущихся предметов
1—2 мес	«Улыбка», привлечение внимания к движущимся объектам; зрительное и слуховое сосредоточение
2—3 мес	Фиксация неподвижного предмета, проследивание движущегося объекта, ощупывание собственных рук или предмета, «комплекс оживления», социальная улыбка; гуканье, гуление, поворот к говорящему лицу
3—4 мес	Различение цвета (включение желто-синей оппонентной системы), различение объектов по размеру, повышенное внимание к новым предметам, усиление гуления
5—6 мес	Различение целостных объектов и их отдельных признаков, различение цвета (включение красно-зеленой оппонентной системы),

Возраст	Функции
	способность дифференцировать выражение лица, различать мимику и жесты, бимануальная координация под зрительным контролем, начало лепета, понимание собственного имени
8—9 мес	Предпочтительное восприятие формы как интегрированного целого; первые проявления произвольности (внимание к исчезающему объекту), совместная игровая деятельность со взрослым, жестовое прощание, отвечает действием на словесную инструкцию, произвольное произнесение звуков и слогов, интонационно-методическая имитация речи
12 мес	Константность восприятия формы предмета, вербальная категоризация предметов, активное зрительное исследование обстановки, избирательное отношение к окружающим, понимание некоторых обобщенных команд (сложи игрушки), 10—15 лепетных слов, явная интонационная выразительность

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте физиологические и поведенческие особенности периода новорожденности.
2. Какие существенные новообразования в двигательной сфере характерны для первого полугодия?
3. Охарактеризуйте психофизиологические особенности младенца первого полугодия. Какова роль сенсорных систем в формировании психических процессов и поведения младенца?
4. Какие изменения в регуляции внутренней среды и метаболизма происходят в течение 1-го года жизни ребенка?
5. Формирование каких мозговых механизмов определяет развитие познавательной деятельности ребенка?

Глава 19. РАННИЙ ВОЗРАСТ (ОТ 1 ГОДА ДО 3 ЛЕТ)

Скорость роста. Начиная со 2-го года жизни скорость роста ребенка быстро снижается. На смену интенсивным ростовым процессам приходят процессы клеточных дифференцировок, что обеспечивает существенно качественное изменение свойств детского

организма, постепенно приближая его к зрелому состоянию. Пропорции тела продолжают изменяться, уменьшается относительный размер головы.

Зубы. Продолжается рост челюстей и прорезывание молочных зубов. На 2-м году жизни в норме зубы появляются в такой последовательности: предкоренные (14—15 мес), клыки (18—19 мес) и коренные (20—24 мес). К концу этого периода развития у ребенка должны прорезаться все 20 молочных зубов, что решающим образом влияет на пищевое поведение, поскольку позволяет ребенку к концу этого возрастного этапа перейти практически на взрослый рацион питания.

Скелетно-мышечная система. Рост костей продолжается, хотя далеко не так интенсивно, как в 1-й год жизни. Кости черепа к 3-летнему возрасту практически полностью срастаются, и после этого голова очень мало увеличивается в размере, причем главным образом за счет утолщения костной ткани. Скорость роста позвоночника также снижается, однако в нем происходят важные качественные изменения, связанные с формированием изгибов.

Очень важно в этом возрасте обращать внимание на развитие свода стопы и профилактику плоскостопия. Для этого необходимо следить за качеством и удобством обуви, а также поощрять ребенка к ходьбе босиком по грунту и траве в летнее время. Эта процедура будет одновременно служить и мягким средством закаливания.

Если тоническая мускулатура, которая обеспечивает удержание позы, уже достаточно сформирована и дальнейшее ее развитие идет в сторону количественного нарастания и повышения функциональной устойчивости, то фазические мышцы, от которых зависят сила и быстрота, проходят в этом возрасте лишь очередной, далеко не последний этап своего развития. С этим связаны многие особенности движений детей этого возраста, в частности их большая медлительность, плавность движений, отсутствие в двигательных реакциях резких рывков. Недостаточная сила мышц ног препятствует реализации фазы полета во время бега. В то же время именно в этом возрасте происходит интенсивное развитие мышц рук, особенно управляющих тонкими движениями пальцев. Если годовалый ребенок использует кисти рук еще главным образом для хватания и удержания предметов и простейшей манипуляции с ними, то к возрасту 3 лет появляется способность к некоторым тонким движениям (начало рисования). Также примечательно обращение ребенка со спортивными снарядами, например с мячом. Для годовалого ребенка мяч не представляет специального интереса. Ребенок в возрасте 3 лет с удовольствием будет отталкивать мяч руками или ногами — такое движение соответствует уровню зрелости нервно-мышечного аппарата, но вот ловить мяч ребенок в этом возрасте еще практически не способен: слабая координация движений рук еще не позволяет осуществлять

даже такие несложные с точки зрения взрослого действия. Степень развития скелетных мышц и уровень скоординированности движений во многом определяют облик ребенка в этом возрасте.

Мышечная активность. Мышцы годовалого ребенка обеспечивают ему возможность прямохождения в невысоком темпе, а к 3-летнему возрасту ребенок может уже передвигаться достаточно быстро (хотя настоящий бег появится только на следующем этапе — в этом возрасте ребенок не отрывает ног от земли, а истинный бег обязательно включает безопорную фазу). Ни настоящей силы, ни быстроты, ни выносливости ребенок еще проявить не может: для этого не готовы ни сами мышцы, ни управляющие ими нервные центры. Содержание окислительных ферментов в мышечных клетках еще очень невелико, и общие затраты энергии на мышечную активность остаются низкими. При этом мышцы-сгибатели развиты гораздо лучше, чем мышцы-разгибатели. Особенно хорошо развиты в этом возрасте мышцы, обеспечивающие сгибание в локтевом суставе и сгибатели кисти: ребенок 3 лет может удерживаться некоторое время на весу, ухватившись руками за перекладину. Однако подтянуться такой ребенок еще не может, необходимых для этого анаэробно-гликолитических волокон в структуре его мышц еще нет.

Метаболизм и вегетативные функции

Энергозатраты. Скорость ростовых процессов постепенно снижается к 3 годам. За этот период существенно укрепляются мышцы и движения ребенка становятся более разнообразными и самостоятельными. Кроме того, именно на этом этапе завершается переход от молочного к смешанному питанию. Все эти факторы влияют на уровень энергозатрат организма ребенка.

Основной обмен. Уровень основного обмена в течение всего периода от 1 года до 3 лет остается практически неизменным. Хотя затраты на рост постепенно снижаются, примерно с той же скоростью нарастает активность окислительных ферментов в продолжающих созреть и набирать функциональную мощь тканях — паренхиматозных органах (печень, почки, селезенка), мозге и скелетных мышцах. Поэтому уровень основного обмена остается почти без изменения. В дальнейшем он быстро снижается по мере увеличения размеров тела.

Терморегуляция. На этом возрастном этапе химическая терморегуляция постепенно заменяется более экономичной и «прицельной» физической терморегуляцией, основанной на сосудодвигательных реакциях. Практически перестает функционировать бурая жировая ткань, на которую приходилась основная нагрузка по производству дополнительного тепла в первые месяцы жизни.

В необходимых случаях к производству тепла могут уже подключаться мышцы: у ребенка на холоде возникает дрожь. Однако механизмы теплоотдачи еще несовершенны, и комфортная температура внешней среды все еще остается выше 30°. В этом возрасте почти неэффективны закаливающие процедуры, хотя необходимы воздушные ванны и умывание холодной водой. Это важная тренировка механизмов физической терморегуляции, без которой на следующем этапе возрастного развития они не смогут сформироваться.

Питание и пищеварение. Ребенку в возрасте 1 года необходимо получать с пищей 1300 ккал, в 2 года — 1500 ккал, а в 3 года — 1800 ккал. При этом соотношение белков, жиров и углеводов в пище должно составлять 1:1:4. Важно, чтобы животные белки составляли около 75 % от общей суммы белков, поступающих с пищей, а жиры, как минимум, на 10 % состояли из растительных жиров. Это позволяет обеспечить быстро растущий организм необходимыми ему веществами. Питаться ребенок этого возраста должен 4 раза в день, причем обед должен составлять 35—40 % от суточного объема полученной пищи (в энергетическом выражении). В рацион ребенка 1 — 1,5 лет включают хлеб, белый и черный, крупы, макаронные изделия, бобовые, картофель, овощи, мясо и рыбу, яйца, сливочное и растительное масло, творог, сыр, сахар, соль, печенье, фрукты, чай, кофе. По-прежнему важнейшим продуктом остается молоко. Оно должно составлять около 650—700 мл в сутки из общего количества пищи, эквивалентного 1100 мл. После 1,5 лет в рационе ребенка необходимо увеличивать количество черного хлеба, включить в него сметану, сладости, крахмал и другие продукты. Общий объем съедаемой за день пищи повышается до 1300—1400 мл, а количество потребляемого молока остается на прежнем уровне — 700 г.

Особенностью пищеварения ребенка этого возраста является низкая активность желудочных желез, вырабатывающих мало соляной кислоты и сравнительно мало ферментов. Двенадцатиперстная кишка увеличивается в размерах, и повышается активность поджелудочной железы, вырабатывающей ферменты для переваривания жиров и углеводов. Сниженные по сравнению с таковыми у детей более старшего возраста кислотность и активность пищеварительных ферментов не позволяют детям этого возраста есть жареную, кислую и острую пищу.

Выделительная функция. Выделительная функция в возрасте от 1 года до 3 лет развивается пропорционально увеличению размеров тела. При этом резких качественных изменений не происходит. Работа почек постепенно становится более эффективной, но система выделения еще сильно отстает по своей организации и качественным показателям от уровня, характерного для взрослого человека,

Кровообращение и дыхание. Системы обеспечения организма кислородом сохраняют в основном особенности, присущие младенческому возрасту. У детей раннего возраста еще достаточно высок процент крови относительно массы тела, высоко и содержание гемоглобина. Масса тела к 3 годам утраивается. Значительно возрастает ударный объем сердца. Сохраняется высокая частота сердечных сокращений, обусловленная преобладанием симпатической регуляции. В системе дыхания отмечаются существенные изменения, связанные с анатомическими преобразованиями скелета. По мере роста грудной клетки и развития межреберных мышц дыхание становится грудобрюшным. Уменьшается частота дыхания, составляющая у детей 1—2 лет во время бодрствования 35—40 циклов в минуту.

Иммунитет. 2-й год жизни ребенка выделяется как «критический» период в развитии иммунитета. В это время ребенок переходит к новому образу жизни, количество и разнообразие его контактов резко увеличивается, а следовательно, увеличивается и шанс столкнуться с новыми видами патогенных микроорганизмов. В этом возрасте существенно расширяются возможности и повышается эффективность иммунных реакций, однако система местного иммунитета остается недостаточно развитой, и дети по-прежнему особо чувствительны к респираторным вирусным инфекциям.

Развитие двигательных действий

Ранний возраст (от 1 года до 3 лет) — это период формирования целенаправленных движений, появления новых разнообразных движений (базовых, спортивных, игровых), существенного роста двигательной активности ребенка.

Двигательные реакции ребенка являются интегральной формой адаптации к внешней среде, и резкое увеличение количества самостоятельных действий ребенка в этом возрасте служит основой его познавательной активности. Растет длительность динамических нагрузок, повышается выносливость к ним, изменяется характер взаимодействия работающих мышц: формируется баланс мышц-сгибателей и разгибателей. Однако движения еще не очень точны и не устойчивы. Характерной особенностью этого возраста является формирование предметных действий. Ребенок в этом возрасте осваивает большое количество так называемых «инструментальных движений» — учится есть вилкой и ножом, работать ножницами, расчесываться, мыть себя губкой (мочалкой), а главное — учится выполнять графические движения.

В 1—1,5 года малыш крепко зажимает карандаш или мелок в ладони, что очень ограничивает движения. В этом возрасте он не

пытается еще изобразить что-то определенное, просто получает радость от самого процесса движений руки и способен «рисовать» с большим увлечением.

В 2—3 года ребенок, как правило, держит карандаш, зажимая его в ладони. Этот способ, особенно при рисовании мелкими, позволяет детям выполнять довольно сложные движения. Однако движения эти еще спонтанные, нестабильные, почти не ограничиваются.

С 3 лет линии становятся более определенными, менее разбросанными и не повторяются бессмысленно. Улучшается координация при выполнении вертикальных движений, но еще плохо выполняются имитационные движения. Овалы неровные (это, пожалуй, самые трудные элементы), но на рисунках их уже много. Это чаще человек, солнышко, колеса и т.п.

О развитии графических движений, строящихся на основе зрительно-моторных координаций, можно судить по результатам копирования простейших геометрических фигур. В 2 года ребенку доступно копирование вертикальной линии определенной длины, а в 2,5 — копирование горизонтальных линий, в 3 года ребенок может скопировать круг. Однако, подчеркнем еще раз, ребенок *учится* выполнять все эти двигательные действия, но не умеет еще делать это четко, слаженно, без особых усилий и напряжения. Он *учится* застегивать и расстегивать пуговицы, шнуровать ботинки, одеваться и раздеваться. Он *учится* выполнять координированные действия двумя руками, складывая кубики, мозаику, пирамидки. Лучше разбирает, чем собирает «Лего», он *учится* работать лопаткой, кисточкой, карандашом.

Совершенствуется ходьба, появляется бег, прыжки, но структура этих движений вариативна. Ребенок выглядит неуклюжим, но ходьба очень ему нравится, особенно новые ее виды — по лестнице, в горку, с горки и т.п.

Освоение новых движений требует хорошей ориентировки в пространстве. Ребенок учится двигаться в пространстве, и активное участие в этом процессе принимают движения глаз и головы. Наблюдая за действиями окружающих (детей и взрослых) и подражая им, ребенок учится выполнять новые движения.

Все большую роль в процессе выполнения движений начинает играть речевая инструкция взрослых и собственная речь ребенка. По этому поводу метко выразился известный российский психолог Л.С.Выготский: «Речь входит необходимым составным моментом в разумную деятельность ребенка... и начинает служить средством образования, намерения или плана в более сложной деятельности ребенка».

Структурно-функциональная организация мозга. Изменения функциональной организации мозга в раннем возрасте связаны прежде всего с дальнейшим созреванием коры больших полушарий. На рассматриваемом этапе онтогенеза за счет увеличения ветвлений базальных дендритов, образующих систему вертикальных и горизонтальных связей, формируется четкая ансамблевая организация нейронов, выделяются гнездовые группировки, включающие клетки разных типов, что обеспечивает усложнение процесса переработки информации в ансамблях. Формирование в составе ансамблей корзинчатых вставочных клеток, выполняющих тормозящую функцию в нейронных цепях, обеспечивает пластичность интегративных процессов, усиливает взаимосвязанность отдельных ансамблей в вертикальной колонке, чему способствует значительное развитие аксонов. Интенсивное развитие нейронного аппарата коры больших полушарий проявляется в усилении метаболизма нервных клеток: в 2 года резко увеличивается содержание в коре нуклеиновых кислот. Происходящие в коре больших полушарий прогрессивные структурные преобразования отражаются в параметрах основного ритма покоя — альфа-ритма. В раннем возрасте (от 1 года до 3 лет) ЭЭГ характеризуется достоверным увеличением амплитуды и спектра мощности альфа-ритма, пик этого увеличения приходится на 3 года. Отмечается четкий затылочно-лобный градиент выраженности альфа-ритма: максимальная выраженность — в затылочных областях коры, а минимальная — в лобных. Однако наряду с прогрессивной возрастной динамикой альфа-ритма ЭЭГ усложняется, усиливается ее полиморфизм, отражающий развитие сложной биоэлектрической архитектоники. Это является следствием формирования таламо-кортикального и лимбико-кортикального входов, и отсутствия четкой иерархии функциональной организации мозга. Возрастает и индивидуальная вариабельность ЭЭГ, проявляющаяся как в разбросе частоты альфа-ритма, так и в различном соотношении альфа- и тета-волн, отражающих активность лимбических структур мозга. Особенности ЭЭГ соответствует и значительная вариативность поведенческих реакций ребенка на этом этапе развития. Во многом эта вариативность определяется генетическими предпосылками темпа созревания, а во многом — социальными факторами, и прежде всего активным влиянием среды и контактами со взрослыми.

Формирование познавательной деятельности. Важнейшим новообразованием этого возрастного периода является прямохождение, существенно расширяющее возможности самостоятельного ознакомления ребенка с окружающей средой. Дальнейшее развитие двигательных действий усложняет манипуляции ребенка с предметами, ребенок учится вкладывать предметы один в другой,

нанизывать их. Увеличивается разнообразие манипуляций и усложняется конструктивная деятельность с кубиками, пирамидкой, карандашами, бытовыми предметами (чашка, ложка, ботинки), ребенок постепенно учится использовать их по назначению. Если вначале конструктивные действия носят подражательный характер, то затем постепенно, путем проб и ошибок начинается использование собственных способов конструирования. При этом познаются не только предметы как таковые, но и их разнообразные свойства, в том числе относительные характеристики (например, размер колец пирамидки — больше-меньше). Ребенок учится правильно использовать эти свойства. В расширении возможностей познавательной сферы важная роль принадлежит системе зрительного восприятия. Дальнейшее созревание заднеассоциативных и в особенности переднеассоциативных структур, участвующих в реализации зрительной функции, способствует развитию операций опознания и запечатлевания предметов. Ребенок этого возраста способен узнавать не только знакомые реальные предметы, но и их изображения на картинке. Если ребенку 1-го года для опознания целостного образа требовался непосредственный контакт с предметом и интеграция информации, поступающей по разным сенсорным каналам (тактильный, звуковой, обонятельный), то на рассматриваемом этапе онтогенеза на основе уже сформированного эталона опознание может осуществляться только за счет одного из сенсорных входов, в основном зрительного.

Внимание и эмоциональная активность. Качественных изменений механизмов регуляции, обеспечивающих внимание, на этом этапе развития не происходит. Преобладает, как и в младенческом возрасте, эмоциональная активация, отражающаяся в ЭЭГ в виде тета-ритма.

Формирование в раннем возрасте подкрепленных эмоциональным компонентом возможностей ребенка опознавать объекты, продлевает взаимодействие ребенка с этими объектами, обеспечивает развитие процесса невербальной категоризации, а формирование речевой функции способствует развитию вербальной категоризации.

Развитие речи. Показ предмета с его одновременным названием приводит к развитию номинативной функции слова. Вначале слово связывается с определенным конкретным предметом. Затем, на втором году жизни, обозначение словом распространяется на однородные предметы (не конкретная кукла или машинка, а куклы и машинки вообще). Ребенок учится опознавать различные предметы, обозначаемые одним словом, и оперировать ими по назначению.

В течение первых лет жизни совершенствуется как понимание речи, так и собственная активная речь ребенка. Эти процессы стимулируются общением с ним взрослого (особенно матери). Речь

начинает включать в себя выражение отношений между людьми, между людьми и предметами. Понимание речи опережает развитие активной речевой функции. В 1,5 года ребенок усваивает около 100 слов; с этого времени инициатива речевого общения резко возрастает. Ребенок постоянно требует названий предметов и старается их активно использовать, его словарный запас к 2 годам составляет до 300 слов, к 3 — до 1500. При этом речь ребенка характеризуется выраженным словотворчеством (употребление измененных звуковых форм слова, придумывание автономных слов). При нормальном речевом общении автономная речь постепенно исчезает, ребенок начинает правильно говорить и пользоваться грамматическими формами, формируется языковое чутье.

На этом этапе происходит дальнейшее развитие регулирующей функции речи. Ребенок способен понять и реализовать довольно большое количество команд-инструкций, в том числе обобщенных, типа «убери игрушки».

Развитие речи и ее интериоризация способствуют формированию вербального интеллекта ребенка.

Быстрое развитие речевой деятельности и затруднения ее формирования при отсутствии речевого общения позволяют расценивать этот период онтогенеза как чувствительный и критический для становления речевой функции.

К 3-летнему возрасту у ребенка усиливается стремление к самостоятельной деятельности без помощи взрослых, формируется самосознание («Я сам»). Самостоятельность намерений и замыслов внешне проявляется в негативизме, упрямстве, неуправляемости. В психологии этот период обозначается как кризис 3-летнего возраста.

Вопросы и задания

1. Как изменяется в раннем возрасте система терморегуляции, и как это следует учитывать при уходе за ребенком?
2. Перечислите изменения в двигательной сфере, определяющие возрастающие возможности контакта ребенка с внешней средой.
3. В отношении какой психической функции этот возраст можно рассматривать как особо чувствительный (чувствительный)?

Глава 20. ДОШКОЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ (ОТ 3 ДО 6-7 ЛЕТ)

Возраст 3 лет является переломным моментом в развитии ребенка и характеризуется важными качественными изменениями многих функций организма. Не случайно этот календарный воз-

раст является социально признанной границей между ясельным возрастом и возрастом поступления ребенка в детский сад. Между тем как физиологическое, так и психофизиологическое развитие ребенка не обеспечивает ему еще того уровня самостоятельности, который необходим для адаптивного пребывания в детском учреждении. В дошкольном возрасте происходят значительные преобразования в деятельности всех физиологических систем детского организма, и к 6—7 годам ребенок приобретает тот уровень морфологического и функционального развития, который обычно называют «школьной зрелостью». С физиологических позиций возраст 6—7 лет — один из критических этапов развития, от которого во многом зависит вся последующая жизнь ребенка.

Рост и физическое развитие

Скорость роста. Интенсивность ростовых процессов после 3 лет снижается. Пропорции тела продолжают изменяться, ребенок вытягивается, его туловище постепенно становится относительно более узким. В возрасте 4—5 лет начинают проявляться половые различия в строении тела, хотя еще слабо выраженные. В период от 5 до 7 лет наблюдается увеличение скорости роста тела в длину (так называемый «полуростовой» скачок), причем конечности в это время растут быстрее, чем туловище. На этом основан так называемый «филиппинский тест»: ребенку дают задание провести руку над головой и коснуться противоположного уха (рис. 74). Если полуростовой скачок еще не прошел, ребенок не может дотянуться до уха. Завершение полуростового скачка проявляется в том, что ребенок свободно дотягивается до верхнего края ушной раковины или даже до ее середины на уровне козелка.

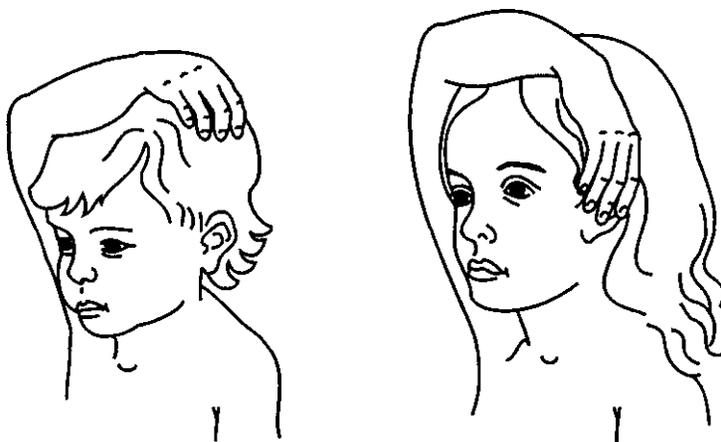


Рис. 74. Филиппинский тест

Смена зубов. Изменения в пропорциях и темпах роста затрагивают и кости черепа. Черепная коробка достигает к этому возрасту уже 4/5 своего окончательного размера и затем растет крайне медленно. Сильно начинают изменяться кости, составляющие каркас лица. Увеличиваются челюсти, молочные зубы перестают соответствовать по своим размерам новым пропорциям, поэтому становится неизбежной их замена на постоянные. Начало смены зубов, очередность и темп — важнейшие показатели биологического созревания организма (*зубной возраст*). Начавшись в этом периоде, смена зубов продолжается в течение 4—5 лет, а полностью зубная система формируется к 18—20 годам, когда появляются последние коренные зубы («зубы мудрости»).

Скелетно-мышечная система. Возраст 3—4 года особенно важен для формирования правильной осанки. В этом возрасте продолжается окостенение многих элементов скелета, что может служить для оценки так называемого «костного возраста» (на основании рентгенографического исследования). По-прежнему важно следить за правильной осанкой и обеспечивать профилактику плоскостопия. Упражнения и массаж с использованием жестких и игольчатых покрытий и спортивных снарядов способствует активации рефлексогенной зоны стоп, которая оказывает мощнейшее влияние на развитие скелетных мышц, проходящих в этом возрасте один из важнейших этапов своего развития.

Именно в этот период формируются три типа мышечных волокон, различающихся организацией метаболизма и сократительными свойствами. Значительно увеличиваются сила и быстрота движений ребенка, в беге появляется фаза полета (дети на мгновение отрываются от земли и летят на расстояние 50—70 см), совершенствуются координационные способности, увеличивается ловкость и гибкость. К моменту завершения полуростового скачка созревают нервные центры, управляющие мышечной координацией, и ребенок уже с легкостью ловит мяч средних размеров или пытается кидать маленький (теннисный) мячик в цель. В это же время происходит дальнейшее развитие мышц рук. К возрасту 5—6 лет формируются весьма тонкие координационные способности, позволяющие переходить к письму. Примерно с 5-летнего возраста в играх начинает преобладать созидательный мотив, ребенок пытается что-то самостоятельно строить: домик из песка или из кубиков и т.п. Это проявление созревания психических функций, но их реализация становится возможной лишь благодаря тому, что определенной, необходимой стадии созревания достигают скелетные мышцы и нервные центры, управляющие их активностью и координацией. Степень развития скелетных мышц и уровень скоординированности движений во многом определяют облик ребенка в этом возрасте.

Конституция. В результате полуростового скачка изменяется форма грудной клетки, проявляется ее типологическая конфигу-

рация, которая тесно связана с развитием и функциональными возможностями легочной ткани. Так, в этом возрасте появляются, а в последующие годы более интенсивно развиваются признаки увеличения продольных размеров грудной клетки. Реберные дуги нижних ребер в этих случаях сходятся в грудине под более острым *эпигастральным углом*. Такое строение содействует развитию органов грудной полости — легких и сердца, формируется так называемый торакальный тип телосложения, способствующий улучшению снабжения организма кислородом и развитию аэробной энергетики, связанной с окислительными процессами в мышцах. У других детей формируется широкая грудная клетка с более тупым эпигастральным углом. Это характерно для мышечного и особенно дигестивного типов телосложения. Могут быть и промежуточные варианты. Следует иметь в виду, что проявления типологических особенностей на данном этапе развития еще не являются окончательными. Чаще всего окончательный тип телосложения складывается только в период полового созревания.

Работоспособность и устойчивость к нагрузкам. Для организма ребенка характерны генерализованные физиологические реакции, т.е. в ответ на внешние воздействия организм реагирует активацией различных физиологических систем. Такой способ реагирования весьма неэкономичен, связан с быстрым исчерпанием резервов и поэтому не может обеспечивать нормальное функционирование в течение длительного времени. Иными словами, в организме нет функциональных возможностей для длительного поддержания устойчивых (стационарных) состояний, возникающих при разного рода деятельности. Это проявляется в быстром утомлении при физических и умственных нагрузках.

Нетренированный ребенок в 6—7 лет способен выдерживать не более 5—7 мин сравнительно небольшую физическую нагрузку, мощность которой не превышает 1,5 Вт на 1 кг массы тела — это может быть работа на велоэргометре или бег со скоростью 1,5 м/с. Для взрослого здорового человека такая нагрузка нетяжела и может выдерживаться без перерыва в течение часа и более. Еще менее устойчивы дети этого возраста к статическим физическим нагрузкам. Это, в частности, накладывает большие ограничения на форму учебных занятий: необходимость неподвижно сидеть за партой, долго сохранять одно и то же положение тела предъявляет к организму ребенка неадекватные требования.

Метаболизм и вегетативные функции

Обменные процессы. Для данного возраста характерен высокий уровень обменных процессов во всех тканях организма. В покое расход энергии организмом ребенка 6 лет достигает 2 Вт в расчете

на каждый килограмм массы тела (у взрослого 1 Вт/кг). Этот сравнительно высокий уровень энергозатрат обеспечивается у детей более интенсивной работой сердца и дыхания. Так, в этом возрасте частота дыхания составляет 24—27 дыхательных циклов в минуту (у взрослых 12—18), частота сокращений сердца 94—98 ударов в минуту (у взрослых около 70).

Дыхание. В возрасте 6—7 лет происходит интенсивный рост ребер и изменяется их положение. Увеличивающиеся в длину ребра меняют форму грудной клетки, ее передняя часть опускается вниз, при этом возможности изменения объема грудной клетки в процессе дыхания резко возрастают. Это оказывает огромное влияние на характер дыхания. Если раньше дыхание было в основном «брюшное», т.е. определялось работой мышц диафрагмы и брюшного пресса, то с этого возраста оно становится «грудобрюшным»: межреберные мышцы начинают играть ведущую роль в организации входа и выхода. Резервный объем вдоха благодаря происходящим морфологическим перестройкам начинает заметно увеличиваться, что создает благоприятные условия для работы легких, в частности, при физической нагрузке.

Кровоток. Объемная скорость кровотока в расчете на единицу массы тела у детей примерно в 2 раза больше, чем у взрослых, что и обеспечивает кислородом тканевые метаболические процессы. При этом кровяное давление у детей намного ниже, чем у взрослых: систолическое давление у 6-летнего ребенка в норме не превышает 95—105 мм рт. ст. Имеются две причины этого. Во-первых, размеры тела детей значительно меньше, следовательно, масса столба крови, давление которого должно преодолевать сердце, примерно в 2 раза ниже. Во-вторых, периферическое сопротивление току крови у детей значительно ниже из-за специфических особенностей сосудодвигательных реакций: тонус сосудов у детей более постоянен, чем у взрослых, и не может достаточно эффективно регулироваться в зависимости от функциональных потребностей организма.

Терморегуляция. Такие особенности регуляции кровообращения заметно сказываются на глубинных функциональных свойствах детского организма. Например, при понижении температуры окружающей среды на несколько градусов ниже комфортного уровня организм взрослого человека реагирует повышением тонуса кожных сосудов (физическая терморегуляция). Это ограничивает ток крови по периферии тела и уменьшает теплоотдачу с его поверхности. Тем самым организм предотвращает понижение температуры «ядра тела», в которое входят жизненно важные органы (сердце, печень, мозг и др.) Совсем иная реакция наблюдается в аналогичных условиях у ребенка. Кожные сосуды почти не изменяют свой тонус, теплоотдача начинает возрастать, а чтобы компенсировать потери тепла, организм включает дополнительные источники теп-

лопродукции. Эта реакция с энергетической точки зрения крайне неэкономична, хотя она также обеспечивает поддержание постоянства температуры внутренней среды организма. У взрослых реакция такого типа (химическая терморегуляция) возможна лишь в условиях резкого и длительного охлаждения и знакома каждому по появляющимся приступам мышечной дрожи.

С 6-летнего возраста начинается быстрое совершенствование сосудодвигательных реакций периферических, в том числе кожных сосудов. Поэтому именно в этом возрасте особенно эффективны разнообразные закаливающие процедуры. Смысл подобных процедур заключается в том, чтобы холодовой нагрузкой на организм приучить его реагировать наиболее экономичным образом на снижение температуры окружающей среды. Это достигается благодаря тренировке сосудодвигательных реакций периферических (кожных) сосудов. Поэтому наиболее интенсивно происходит теплоотдача с конечностей, закаливающие процедуры обычно начинают с тренировки именно сосудов рук и ног (мытьё ног холодной водой) и лишь постепенно переходят к обливанию всего тела.

Эффективность тренировки зависит также от того, насколько контрастные температурные режимы используются: здесь важно соблюдать меру, чтобы не переохладить еще недостаточно закаленный детский организм. Поэтому к широко рекламируемым методам экстремального закаливания детей надо относиться с большой осторожностью. На начальных этапах закаливания температура воды должна быть на 7—10 °С ниже термонеutralной (т.е. 20—23 °С), в дальнейшем, по мере развития закаленности, температуру воды можно существенно понижать (особенно наглядно это демонстрируют любители зимнего плавания в проруби). В начале закаливания необходимо сразу после обливания тщательно растирать охлажденные участки кожи махровым полотенцем, чтобы вызвать приток крови к ним и избежать отрицательных последствий переохладения. Закаливание лучше начинать летом, когда температура воздуха близка к комфортной, и сама процедура — обливание рук, ног, туловища холодной водой — доставляет ребенку радость. Следует помнить, что нельзя закаливать ребенка однажды на всю жизнь. Только регулярность тренировки организма ведет к желаемому результату.

Иммунитет. Закаливание — наиболее эффективный путь повышения неспецифической иммунобиологической устойчивости организма, т.е. его способности противостоять инфекциям, особенно простудным. Связь между сосудодвигательными терморегуляторными реакциями, составляющими суть закаливания, и повышением сопротивляемости организма к инфекции довольно сложная и не во всем еще изучена, тем более любопытны уже установленные факты. Так, например у хорошо закаленных людей

при охлаждении температура слизистой поверхности носа практически не меняется, тогда как у незакаленных — быстро снижается. Поскольку в основном простудная инфекция проникает в организм через верхние дыхательные пути, для повышения устойчивости организма очень важно, чтобы сохранялась высокая активность лимфоцитов — клеток крови, предназначенных для борьбы с болезнетворными микробами. Снижение температуры слизистой носа нарушает нормальную активность лимфоцитов, и микробы на стадии проникновения в организм оказываются победителями в этой «войне». У закаленного же человека даже значительное охлаждение не снижает активности лимфоцитов, и болезнетворные микробы погибают уже на подступах к организму. Такова цена адаптации сосудодвигательных реакций. В детском возрасте, когда специфическая иммунобиологическая защищенность организма в целом еще развита слабее, чем у взрослых, закаливание и поддержание на высоком уровне иммунобиологического барьера особенно важны.

С расшатываемым возрастом (период полуростового скачка, возраст 5—6 лет) связан следующий этап созревания иммунной системы: в этом возрасте созревает неспецифический клеточный иммунитет. Формирование собственной системы неспецифической гуморальной иммунной защиты завершается примерно на 7-м году жизни, после чего простудная заболеваемость детей заметно снижается.

Двигательная деятельность. Развитие движений у детей 3—7 лет связано с созреванием мозга и всех его структур, участвующих в регуляции движений, совершенствованием связей между двигательной зоной и другими зонами коры, изменением структуры и функциональных возможностей скелетных мышц. В период от 3 до 6—7 лет совершенствуется и становится более устойчивой структура локомоций и перемещений рук при игровых и бытовых ситуациях. Однако вплоть до 7 лет биодинамику движений верхних и нижних конечностей у детей отличает наличие лишних колебаний и неравномерность изменений скорости и ускорения. Даже такой наиболее рано формирующийся вид локомоций, как ходьба, по своим биомеханическим показателям и биоэлектрической активности мышц еще несовершенен. В этом возрасте еще отсутствует зависимость между темпом ходьбы и длиной шага, длина шагов непостоянна, начинается развитие содружественных движений рук и ног. Эти особенности процесса совершенствования двигательных функций не мешают детям овладевать многими сложными двигательными координациями — плаванием, ездой на велосипеде, катанием на коньках, лыжах, лазанием.

С 4 лет дети сравнительно легко, без ошибок выполняют попеременные движения ногами. В то же время им с трудом удаются прыжки, предполагающие синхронную работу обеих ног.

Период 4—7 лет является этапом активного освоения и совершенствования новых инструментальных движений, в том числе и действий карандашом и ручкой.

В 3,5—4 года ребенок уже умеет держать карандаш и довольно свободно манипулировать им. К этому возрасту совершенствуются координация движений и зрительно-пространственное восприятие, и это позволяет детям хорошо копировать. Они умеют передавать пропорции фигур, ограничивать протяженность линий и рисовать их относительно параллельными. Рисунки детей этого возраста разнообразны по сюжетам; дети не только рисуют, но пытаются писать буквы, подписывая свои рисунки.

В 5 лет хорошо выполняются горизонтальные и вертикальные штрихи. Ребенок уже способен ограничивать длину штриха, линии становятся более ровными, четкими и этому помогает изменение способа держания ручки. Рисунки пятилетних детей показывают их способность выполнять вертикальные, горизонтальные и циклические движения. Они все чаще пытаются писать буквы.

В 6 лет дети хорошо копируют простейшие геометрические фигуры, соблюдая их размер, пропорции. Штрихи становятся более четкими и ровными, овалы завершенными. Фактически в этом возрасте детям доступны любые графические движения, любые штрихи и линии. Регулярные занятия детей рисованием совершенствуют движения, тренируют зрительную память и пространственное восприятие, создают основу для успешного обучения письму. «Опыты» письма 6-летних детей, с которыми специально не занимаются, показывают, что дети пишут многие буквы зеркально, не соблюдая размерность и соотношение штрихов, а попытки писать письменными буквами часто закрепляют неправильную конфигурацию, неверную траекторию движений.

Важно отметить, что начиная с 4 лет выявляется возможность целенаправленного формирования движений в процессе обучения ребенка, роль слова в процессе двигательного обучения повышается. Для того чтобы ребенок правильно усвоил способ движения недостаточно подражания или показа, необходима специальная организация деятельности ребенка под руководством взрослого. При этом сочетание словесной инструкции и наглядного показа дает наиболее эффективный результат. От 4 к 7 годам снижается число упражнений, необходимых для формирования нового двигательного действия.

В 6—7 лет начинается освоение одного из самых сложных двигательных навыков — письма. Трудность формирования этого навыка связана не только со сложностью самого двигательного действия, но и с несформированностью мелких мышц кисти и пальцев, незавершенностью окостенения костей запястья и фаланг пальцев, несовершенством нервно-мышечной регуляции. Поэтому огромное значение имеют условия, при которых происхо-

дит формирование навыка. Чтобы оно происходило наиболее эффективно, необходимы следующие условия: осознанный анализ траекторий каждого движения, выделение основных ориентиров движения, включение в общий контекст деятельности с высокой игровой мотивацией.

Таким образом, в возрасте от 3 до 7 лет наиболее эффективным является формирование новых двигательных действий при высокой мотивации в условиях игровой деятельности.

Структурно-функциональная организация мозга и формирование познавательной деятельности

Существенным этапом в развитии целенаправленного поведения и познавательной деятельности является дошкольный возраст. Происходящие в этот период изменения структурно-функциональной организации мозга определяют готовность ребенка к школе, обуславливают возможность и успешность учебной деятельности.

Структурно-функциональная организация мозга. В период от 3 до 5—6 лет наблюдается специализация нейронов, их типизация в проекционных и ассоциативных областях коры. Самым существенным моментом структурного созревания коры больших полушарий к 5—6 годам является усложнение системы связей по горизонтали как между нейронами близко расположенных ансамблей, так и между разными областями коры. Это происходит за счет роста в длину и разветвления базальных дендритов и развития боковых терминалей апикальных дендритов. Одновременно значительные изменения претерпевают и межполушарные связи: к 6—7 годам формируется мозолистое тело, соединяющее оба полушария. Таким образом, морфологические преобразования создают реальные предпосылки для формирования интегративных процессов в деятельности ЦНС. Это подтвердилось результатами анализа ЭЭГ дошкольников.

В 3—5 лет еще отмечается определенная нестабильность альфа-ритма и полиморфный характер ЭЭГ. К 6 годам альфа-ритм со средней частотой 9 Гц становится доминирующей формой активности. Наиболее существенно к этому возрасту изменяется показатель, отражающий синхронность альфа-ритма в различных областях коры (функция когерентности). К 6 годам значение когерентности между отдельными областями коры (затылочная и лобная) и между двумя полушариями резко возрастает. Это свидетельствует о значительных перестройках функциональной организации мозга. Формирующиеся с возрастом нейронные сети создают все предпосылки для реализации интегративной деятельности мозга как основы целенаправленного поведения и познавательных процессов.

Формирование системы восприятия информации. На протяжении дошкольного возраста происходят существенные изменения в формировании внутреннего образа внешнего мира.

В 3—4 года еще сохраняется тесное взаимодействие зрительного восприятия и двигательных действий. Практические манипуляции с объектом (схватывание, ощупывание), присущие младенческому возрасту, являются необходимым фактором зрительного опознавания. К концу дошкольного возраста зрительное и осязательное обследование предмета становится более организованным и систематичным. Выделяемые признаки соотносятся между собой и целостным представлением объекта, что способствует формированию дифференцированного и более адекватного сенсорного образа. К 5—6 годам повышается успешность обнаружения различных модификаций объекта. При предъявлении в качестве изменяющихся стимулов рисунков людей и предметов обнаружено, что количество незамеченных изменений в 5—6 лет по сравнению с 3—4-летними детьми уменьшается вдвое в ответ на лица и более чем в три раза — при предъявлении предметов.

Роль взаимодействия тактильно-кинестетического и зрительного каналов проявляется не только в формировании образа, но и в его коррекции на основе обратных связей.

По мнению крупнейшего исследователя дошкольного возраста А. В. Запорожца, «ни один сенсорный импульс, ни одно раздражение рецептора не может однозначно определить возникновение адекватного образа восприятия. Здесь необходима коррекция, исправляющая неизбежные ошибки и приводящая образ в соответствии с объектом подобно тому, как двигательное поведение субъекта, согласно Бернштейну, может согласовываться с условиями задачи лишь благодаря сенсорной коррекции, адекватность восприятия обеспечивается в конечном счете коррекцией эффекторной».

В дошкольном возрасте по мере накопления индивидуального опыта снижается удельный вес ощупывания в зрительном восприятии и существенно преобразуются движения глаз. С помощью кинорегистрации установлено, что у детей 3—4 лет при первом ознакомлении с объектом немногочисленные глазные движения осуществляются внутри фигуры. При таком способе ознакомления вероятность узнавания сложных, незнакомых ребенку предметов находится на уровне случайности (50 %). В 4—5-летнем возрасте число движений внутри фигуры нарастает, длительность отдельных фиксаций сокращается; обнаруживаются размашистые движения по оси, имитирующие измерение объекта. В результате достигаются более высокие показатели узнавания. В 5—6 лет система восприятия переходит на качественно иной уровень. Вероятность узнавания объекта достигает 100 %. Дети при первом ознакомлении с новым предметом прослеживают по контуру всю

фигуру, как бы создавая внутреннюю модель формы. На основе построения перцептивного образа при последующем восприятии предмета создаются условия для сопоставления этого образа с наличным объектом. Эти опознавательные действия, ведущие к формированию обобщенного эталона, отличаются от перцептивных. Происходит сокращение прослеживающих глазных движений, и опознание осуществляется на основе наиболее информативных для данной задачи отдельных признаков, при дифференцированном анализе которых все большую роль приобретают микродвижения глаз, возможно осуществляющие считывание информации со следа на сетчатке. Очевидно эти движения являются важным инструментом, обеспечивающим возможность «перемещения» направленного внимания в микропространстве отдельных признаков и свидетельствуют о роли скрытых движений глаз в структуре внимания.

Возможность формирования в старшем дошкольном возрасте сложных эталонов, включающих иерархическую структуру интегрированных признаков, облегчает процесс опознания и категоризацию на основе не только сенсорных, но и концептуальных характеристик объекта (общие свойства всех его вариантов).

Важные сведения о нейрофизиологических механизмах, обеспечивающих становление системы зрительного восприятия, получены при изучении электрофизиологических коррелятов приема и обработки зрительной информации.

Вызванные ответы на простые зрительные стимулы в затылочных областях, сохраняя основной компонентный состав, в период от 3 к 6 годам изменяют свои временные и амплитудные характеристики. В ВП на вспышку света сокращается пиковая латентность и длительность всех компонентов основного комплекса: возрастает амплитуда ответа, усиливается выраженность поздних фаз ответа. Эти изменения отражают ускорение и усложнение анализа зрительных стимулов и коррелируют с созреванием проекционной коры: к 6 годам возрастают дифференциация и специализация нервных элементов — увеличивается число горизонтальных ветвлений, помимо узких колонок обнаруживаются единичные широкие группировки нейронов.

Анализ топографии ВП — их параметров в разных областях коры больших полушарий — показал, что в 3 года начальные компоненты зрительных ответов стабильно регистрируются во всех областях коры, причем их конфигурация в каудальных отделах и реактивность идентичны. ВП включает негативные компоненты с латентным периодом 90 и 160—200 мс (N_{90} и $N_{160-200}$ соответственно) и позитивные (P_{130} и $P_{250-300}$) (рис. 75). В 3 года в заднеассоциативных областях в известной мере становятся зрелыми характерные для них цитоархитектонические признаки, расширяется сеть дендритных ветвлений и возрастает число нейро-

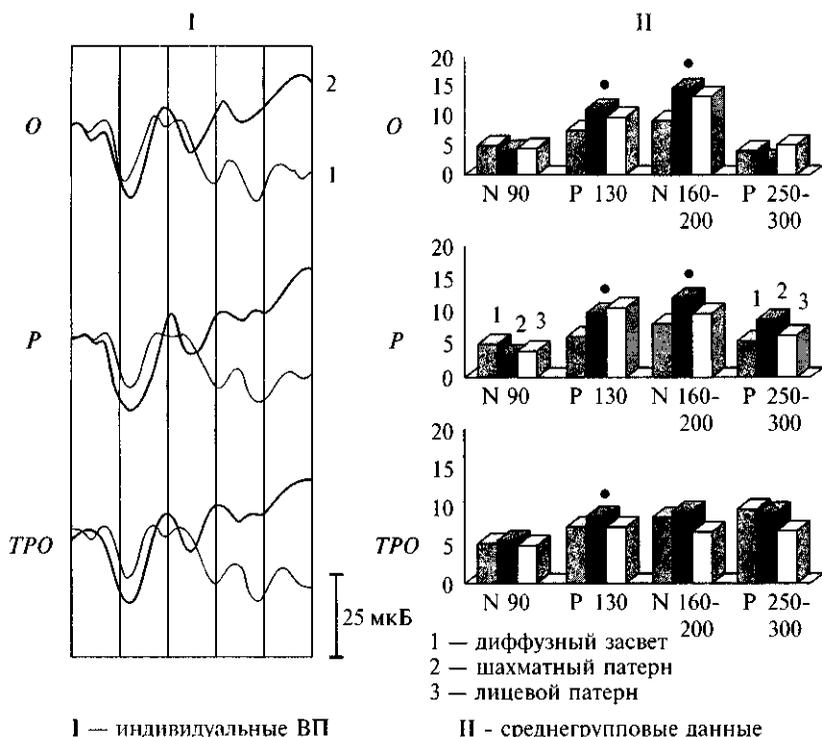


Рис. 75. Сходная реактивность основного комплекса ВП ($P_{130}-N_{160-200}$) в каудальных отделах (*O*, *P*, *TPO*) в 3—4-летнем возрасте. Точками отмечены достоверные изменения амплитуды ВП при смене засвета шахматным рисунком и схематическим изображением лица

нов, входящих в колонку. Однако в 3—4 года еще отсутствуют дифференциация и специализация заднеассоциативных структур в зрительных операциях, присущие более старшему возрасту. Генерализованный характер вовлечения корковых зон в зрительное восприятие и их однотипная реактивность — дублирование отдельных звеньев системы — являются основными признаками биологической надежности развивающегося организма, обеспечивающими адаптивный характер реагирования на ранних этапах онтогенеза. Вовлечение заднеассоциативных структур в зрительное восприятие хорошо коррелирует с возможностью выработки внутренних эталонов, используемых для опознания часто встречающихся стимулов.

К 6—7 годам происходят существенные изменения в системной организации зрительного восприятия, отражающие прогрессивное созревание нейронного аппарата коры больших полушарий и возрастающую специализацию корковых зон. Организация

системы зрительного восприятия к концу дошкольного возраста за счет специализированного участия проекционных и ассоциативных корковых зон и их взаимодействия обеспечивает высокую разрешающую способность перцептивной функции. Создается возможность восприятия новых сложных объектов и выработки соответствующих эталонов, что способствует значительному обогащению индивидуального опыта.

При изучении времени реакции и скорости опознания разных по сложности объектов отчетливо проявляются различия механизмов опознания в 3—4 года и в 5—6 лет. В 3—4 года нейрофизиологические механизмы определяют возможность опознания только простых признаков за счет выработанных эталонов. Об этом свидетельствуют незначительные изменения времени опознания при многократных повторениях объекта в идентичных условиях решения сенсорной задачи. В 6 лет опознание основано на выделении сложного признака, оно требует большего времени и зависит от количества различаемых на его основе изображений. В ходе тренировки это время сокращается и перестает зависеть от количества стимулов в наборе. Механизмы такого опознания связываются с вырабатываемыми в опыте внутренними эталонами. Это свидетельствует о значительно возрастающих в течение дошкольного возраста возможностях ознакомления ребенка с внешним миром, о переходе механизмов, лежащих в основе информационных процессов, на качественно иной уровень.

Формирование внимания. С формированием сенсорной функции тесно связано развитие внимания. Созревание сенсорных систем и совершенствование воспринимающей функции мозга определяют возможность привлечения внимания к более сложным признакам объекта, а это в свою очередь способствует более глубокому и полному описанию и опознанию.

В начале дошкольного периода сохраняется значимость новизны как основного возбудителя внимания.

Приблизительно в возрасте 4 лет отмечается всплеск интереса ребенка к новому, активный поиск новизны, проявляющийся в бесконечных «почему». Специфика этого периода состоит в том, что к имевшемуся в раннем возрасте предпочтению новизны добавляется и стремление к разнообразию, что можно предположительно связать с активным вовлечением в мозговую систему ключевой структуры лимбического мозга — гиппокампа. Важное значение в изменении характеристик внимания имеют и возрастные преобразования системы восприятия от 3—4 к 6 годам, приводящие к быстрому нарастанию объема внимания.

Поведенческая реакция на «очень интересное новое» проявляется в застывании с приоткрытым ртом и фиксации глазами предмета (ввод информации). В ЭЭГ в этом возрасте, как и в младенческом, наблюдается увеличение амплитуды и представленности

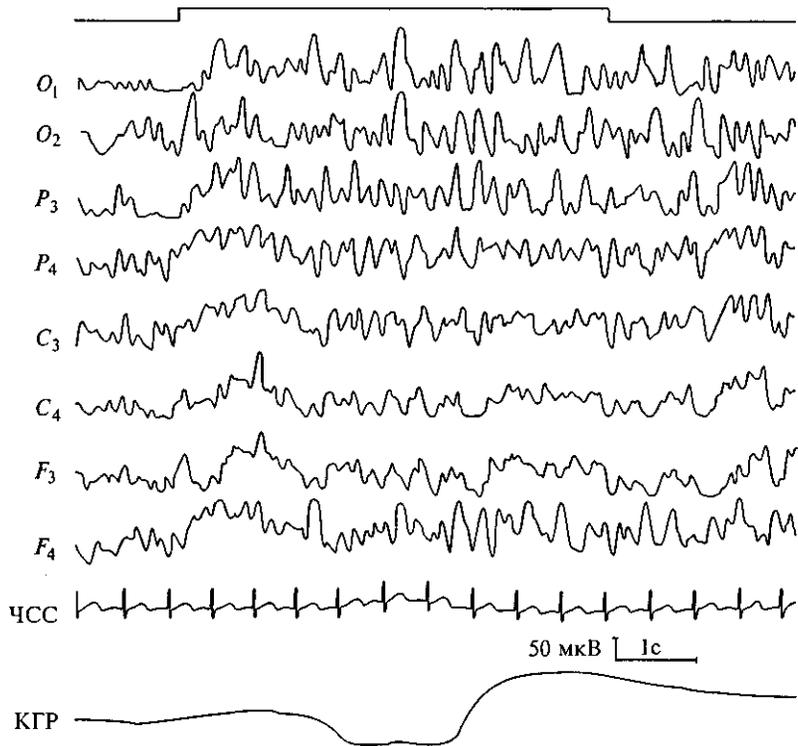


Рис. 76. Незрелый вариант реакции активизации в ЭЭГ ребенка 3 лет 6 мес в ответ на первое предъявление стимула (отметка на верхней линии). Отведения обозначены слева от кривых. Две нижние линии — регистрация сердечного ритма и КГР

медленных волн, в основном тета-диапазона (частота 4—7 Гц). Одновременно регистрируются и вегетативные компоненты ориентированной реакции (рис. 76).

ЭЭГ-коррелят привлечения внимания отражает характерные особенности активационных процессов ребенка-дошкольника. У детей тета-ритм возникает во время эмоционального реагирования, рисования, эмоционального общения. При этом отмечается, что тета-активность сопровождает положительное состояние ребенка.

Отсюда следует, что усиление тета-ритма в ответ на новые стимулы, регистрирующиеся с соответствующим вегетативным и поведенческим сопровождением у детей 3—4 лет, может быть расценено как онтогенетический вариант ЭЭГ-реакции активации. Он отражает включение в процесс внимания эмоциональной активации. Функциональная роль эмоциональной активации,

«обслуживающей» стремление к впечатлениям (вариант познавательной мотивации для этого возраста), состоит в поддержании интереса и внимания к стимулу для облегчения его восприятия и анализа.

Функциональная роль эмоциональной активации в приеме и анализе внешнего стимула особенно велика в возрасте 3—5 лет, когда система восприятия еще незрелая, а участие заднеассоциативных структур в зрительном восприятии неспециализированно. Это затрудняет анализ сложных изображений, не имеющих аналогов в индивидуальном опыте ребенка. При появлении незнакомых абстрактных стимулов дети ограничиваются их общим осмотром и беглым впечатлением. Незрелость механизмов переработки и оценки информации компенсируется эмоциональной активацией, которая, пролонгируя «общение» ребенка с объектом, способствует реализации тех перцептивных возможностей, которые имеются к данному возрасту.

Изменения в организации системы восприятия с 6 лет (специализированное вовлечение в анализ и обработку зрительной информации заднеассоциативных отделов) создают условия для углубленного восприятия предметов, оперирования большим набором признаков. Эти изменения по времени совпадают с качественным изменением электрофизиологического коррелята внимания. Усиление тета-ритма в ответ на новые стимулы начинает перемежаться с блокадой (десинхронизацией) альфа-ритма в каудальных отделах коры, т.е. с более зрелым типом реакции активации. Вовлечение альфа-ритма в процесс внимания по зрелому типу указывает на адекватное включение корковых механизмов в обеспечение внимания, на начало процесса его кортикализации при сохранении вклада эмоциональной активации и высокой эффективности эмоционально привлекательных стимулов.

Формирование зрелого типа реакции активации расширяет сферу действия внимания, обеспечивает его направленность не только на стимулы, обладающие непосредственной привлекательностью, но и на более абстрактные, отвлеченные характеристики среды, ее информационный компонент. Одним из следствий этого процесса является описанная выше возможность выработки эталонов на совершенно новые для ребенка абстрактные стимулы к 6—7-летнему возрасту.

Произвольная регуляция деятельности. В старшем дошкольном возрасте появляется и развивается возможность произвольной регуляции деятельности по внешней инструкции. Появляются различия в способности к произвольному регулированию у детей 3—4 и 6—7 лет.

Анализ динамики региональных ВП при обусловленной инструкцией необходимости быстрого реагирования на значимый стимул показал, что 3—4-летние дети, даже повторяя инструкцию,

не могли соответствующим образом организовать свою деятельность. Значимые изменения параметров ВП при переходе от спокойного наблюдения к мобилизационной готовности не были обнаружены. Начиная с 4—5-летнего возраста отмечается облегчение позитивного компонента ВП, одинаково выраженное во всех отведениях. К концу дошкольного возраста это облегчение обнаруживает некоторую региональную специфичность, проявляющуюся в увеличении амплитуды компонентов ВП в лобных и центральных областях, что свидетельствует об активном участии этих областей в зрительном восприятии в ситуации внимания. Учитывая роль этих областей в регуляции процессов активации, можно полагать, что их участие в формировании мобилизационной готовности создает избирательность в организации деятельности. Однако существует своеобразный разрыв между появившейся возможностью формирования избирательности в организации деятельности и ее реальным и постоянным осуществлением, что требует значительных усилий и может происходить только с помощью взрослого — путем создания игровой ситуации или сообщения ребенку готовых правил. Создание такой ситуации приводило к появлению селективности в организации восприятия и внимания у детей в возрасте от 3 лет 10 мес до 5 лет 8 мес. Без соответствующих воздействий селективные стратегии развивались в период от 7 до 9 лет. Эти результаты указывают на возможность коррекции дефицита произвольной регуляции в определенных пределах на основе четких знаний возрастной специфики мозговой организации деятельности.

Таким образом, на протяжении дошкольного периода происходят значительные преобразования мозговых механизмов организации познавательной деятельности и целенаправленного поведения ребенка, которые во многом определяют его готовность к систематическому обучению в школе.

Вопросы и задания

1. Какие изменения ростовых процессов происходят в дошкольном возрасте?
2. Охарактеризуйте особенности функционирования физиологических систем, обеспечивающих сохранение гомеостаза.
3. Охарактеризуйте изменения в мышечной системе в дошкольном возрасте. Как они влияют на двигательные возможности ребенка?
4. Каковы возможности дошкольников в организации и управлении движениями?
5. Какие факты свидетельствуют о существенных психофизиологических преобразованиях к концу дошкольного возраста?
6. Какие новообразования в старшем дошкольном возрасте обуславливают готовность ребенка к школе?

Глава 21. МЛАДШИЙ ШКОЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ (С 7 ДО 11-12 ЛЕТ)

Этот период характеризуется ускоренными процессами психического развития и формированием целенаправленного поведения на фоне продолжающихся морфофункциональных перестроек организма. При этом темп и характер этих перестроек определяют индивидуальную динамику психического развития.

Рост и физическое развитие

Скорость роста. После завершения полуростового скачка и до начала пубертатного скачка отмечаются самые низкие темпы роста длины и массы тела. Увеличение длины и массы тела происходит таким образом, что ребенок «вытягивается», продолжает снижаться относительное содержание подкожного жира. Отчетливо начинают проявляться индивидуально-типологические конституциональные особенности телосложения. По пропорциям тела ребенок уже очень похож на взрослого, хотя по сравнению с полностью сформированными юношами и девушками его ноги еще относительно короче, у мальчиков более узкие плечи, а у девочек — бедра.

Зубы. Продолжается смена молочных зубов на постоянные. Первыми — в возрасте 6—7 лет — выпадают и меняются резцы, а также прорезывается 1-й большой моляр. Далее сменяются клыки (9—11 лет), затем малые коренные (10—11 лет), и к началу полового созревания не прорезавшимися обычно остаются только 2-й малый коренной и 2-й большой моляр. Индивидуальные варианты сроков и даже последовательности прорезывания зубов бывают очень разнообразны.

Скелетно-мышечная система. Абсолютные размеры черепа практически уже не отличаются от размеров черепа взрослых, причем черепные кости полностью сращены, и дальнейшее развитие мозга может идти только путем качественных преобразований и усложнения его структуры. Позвоночник продолжает расти, завершается формирование его изгибов, поэтому в этом возрасте столь важно обращать внимание на осанку: в случае ее нарушения исправить положение дел в дальнейшем будет значительно сложнее. В этом плане очень важно удержание гигиенически правильной позы во время уроков, при чтении, просмотре телевизионных передач и т.п. Объем статической нагрузки, вызванной социальными условиями современной жизни, в этот период резко возрастает, и это требует принятия специальных мер

со стороны родителей, учителей и врачей для профилактики сколиозов и других нарушений опорно-двигательного аппарата. Развивающееся плоскостопие в этот период еще можно преодолеть с помощью специальных упражнений и массажа. Биологически этот возраст как бы предназначен для повышенной игровой двигательной активности, поэтому негативное влияние социально обусловленной гипокинезии в младшем школьном возрасте особенно значимо. Соблюдение рекомендованного гигиеническими нормами двигательного режима — необходимое условие сохранения и укрепления здоровья детей.

Скелетные мышцы ребенка вновь существенно меняются, обеспечивая очень высокую подвижность и неутомляемость (при условии смены режимов мышечной деятельности). У детей в возрасте 8—10 лет наиболее интенсивна игровая активность, сочетающаяся с повышенной двигательной активностью. Во всех органах и системах происходят морфофункциональные преобразования, создающие благоприятные условия для осуществления больших объемов мышечной работы за счет функционирования аэробного источника энергии. Важно подчеркнуть, что только к этому возрасту морфофункциональное развитие ребенка достигает такого уровня, который способствует длительному поддержанию работоспособности.

Работоспособность. Динамика работоспособности в младшем школьном возрасте отражает возрастающую надежность функционирования организма ребенка. При циклической работе ногами, в зоне большой мощности (при пульсе 160—170 уд/мин) объем выполняемой работы у детей в период от 7 до 10 лет возрастает в 4 раза и составляет в 10—11-летнем возрасте примерно 40 кДж. Однако это еще далеко не соответствует возможностям взрослых. К 17—18-летнему возрасту работоспособность в этой зоне мощности возрастает до 400 кДж. За время обучения в школе при надлежащем физическом воспитании надежность физиологических функций, определяющих работоспособность, увеличивается в 40 раз.

Дети в возрасте 7—10 лет уже в состоянии длительно, устойчиво (стационарно) поддерживать функциональную активность. У 6-летних детей такая способность возникает только в результате соответствующих тренировок, т.е. постоянного упражнения тех или иных физиологических систем в разумных для данного возраста пределах. Естественный механизм, помогающий развитию этих возможностей, — спонтанная игровая деятельность. В ней создаются определенные условия для формирования мотивов целенаправленного поведения. Младший школьный возраст сенситивен для формирования способности к длительной целенаправленной деятельности — как умственной, так и физической. Так, на возраст 8—9 лет приходится максимум игровой двигательной активности

детей. На перемене они стремятся компенсировать вынужденную неподвижность на уроке, что обусловлено их физиологическими потребностями. Оптимальное удовлетворение двигательных потребностей как на уроках физической культуры, так и во внеурочное время содействует развитию основных двигательных качеств. Это доказывается, в частности, результатами исследования возрастной динамики общей выносливости и педагогическими экспериментами, в которых выносливость детей 7—9 лет удавалось повысить в 2 раза за счет специальной организации занятий на уроках физической культуры. При этом сами дети предпочитают игры, развивающие ловкость и скоростно-силовые качества.

Метаболизм и вегетативные функции

Обменные процессы в этом возрасте достаточно стабильны. Интенсивность окислительного метаболизма (обмен веществ) по сравнению с предыдущим возрастом снижается и составляет 1,4 Вт на 1 кг массы тела в покое. В повседневной деятельности обменные процессы протекают примерно в 2 раза быстрее, чем в покое. Таким образом, за сутки организм ребенка расходует 8 МДж энергии (1800 ккал). Однако это средняя цифра. Детальное изучение индивидуальных особенностей метаболизма и потребности в пище показывает, что у разных детей в этом возрасте потребности в энергии могут составлять от 4 до 12 МДж/сут, т.е. 1000—3000 ккал/сут. Столь большие индивидуальные различия появляются после завершения полуростового скачка. Они связаны с индивидуальными различиями во внутренней организации обменных процессов и совершенно нормальны. Именно на этих различиях базируется необходимость выявления рациональных норм питания. Практика показывает, что далеко не всегда количество необходимой пищи совпадает с количеством потребляемой пищи. Чаще всего такое несоответствие возникает как результат неадекватных пищевых привычек, возникших под влиянием взрослых. Именно в этом возрасте начинает отчетливо проявляться избыточный вес, связанный с тем, что излишек потребляемой с пищей энергии не используется в обменных процессах, а откладывается в виде жира.

На возраст 8—9 лет приходятся важные преобразования функций пищеварительной системы, в первую очередь механизмов регуляции желудка и печени. Нарушения в режиме питания, несоблюдение основных правил при выборе пищевых продуктов и их приготовлении — все это может привести к хроническим заболеваниям желудочно-кишечного тракта.

Вегетативные системы. Быстрое развитие выносливости и способности поддерживать стационарные состояния вообще связано

в первую очередь с расширением резервных возможностей большинства функций. Возрастное снижение интенсивности обменных процессов и параллельное уменьшение активности транспортных систем (частоты сокращений сердца и дыхания и т.п.) в покое определяет снижение нижней границы (базального уровня) функционального диапазона. С другой стороны, это отражает экономизацию функций, а с третьей — обеспечивает расширение функционального диапазона, так как максимальный уровень сохраняется весьма высоким. Так, максимальная частота сокращений сердца у детей этой возрастной группы по-прежнему достигает 200—210 уд/мин. В то же время в покое у мальчиков 7 лет она составляет 91,2 уд/мин, а к 10 годам снижается до 78,7 уд/мин. Немалую роль в этом возрасте играет увеличение ударного объема сердца и дыхательных объемов, что значительно расширяет резервные возможности организма в условиях напряженной деятельности и адаптации.

Согласованность функционирования систем энергообеспечения.

Высокая потребность в кислороде характерна не только для мышечной ткани, но и для тканей внутренних органов и мозга. Так, мозг ребенка в этом возрасте примерно в 2 раза интенсивнее потребляет кислород, чем мозг взрослого, и это обеспечивается соответствующим кровоснабжением. У детей выше интенсивность окислительных процессов также в печени, желудочно-кишечном тракте, почках и других органах. Повышенная потребность органов и тканей детского организма в кислороде обуславливает своеобразную организацию функционирования сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Хотя экономичность работы кровообращения и дыхания в младшем возрасте еще не так велика, как у взрослых, их согласованность очень высока.

В младшем школьном возрасте совершенствуется и терморегуляция. Формируются механизмы физической терморегуляции, т. е. способность организма поддерживать постоянство температуры тела не за счет производства добавочного тепла, а за счет ограничения теплоотдачи через поверхность кожи. К 10 годам у ребенка этот механизм настолько сформирован, что по своей эффективности мало отличается от подобного механизма у взрослого.

Таким образом, все элементы, составляющие сложнейшую функциональную систему аэробного энергообеспечения функций организма, «пригнаны» друг к другу и взаимодействуют оптимальным образом. Ясно, что такая тонкая регуляция взаимодействия физиологических процессов не может быть реализована без соответствующего уровня зрелости и тренированности центрального аппарата управления.

Формирование произвольных движений. Возраст 7—10 лет можно считать оптимальным для формирования произвольных движений. На этом этапе возрастного развития существуют особенно благо-

приятные психофизиологические предпосылки для быстрого освоения и совершенствования сложных произвольных движений.

К 7 годам заметно расширяются связи двигательной области головного мозга с одним из важных центров регуляции движений — мозжечком и подкорковыми образованиями, в частности с красным ядром. К этому возрасту морфологические признаки коркового отдела двигательного анализатора ребенка близки к таковым взрослого человека. Достигает значительной зрелости и рецепторный аппарат двигательной системы. Морфологическое созревание двигательной коры мозга завершается в период от 7 до 12—14 лет. К этому же возрасту полностью развиваются чувствительные и двигательные окончания мышечного аппарата.

Возраст 7—10 лет является новым этапом в формировании акта ходьбы. Показатели структуры шага и ходьбы близки к показателям взрослых. Темп ходьбы равномерный, длина шага стабильна, ускорение темпа связано с удлинением шага. Лишь к возрасту 9—10 лет иннервационная структура двигательной координации становится устойчивой к влиянию дополнительных нагрузок и различных «шумов», мешающих реализации движения.

Качественная реализация моторной программы при выполнении движений (особенно на начальных этапах формирования навыков) требует напряженного зрительного контроля, так как именно зрительный контроль выступает в качестве ведущего механизма обратной связи и в процессе онтогенетического развития, и в процессе формирования произвольных движений. По мере совершенствования навыка более значимой в регуляции движений становится проприоцептивная информация. При этом допускается, что зрительная и проприоцептивная системы при управлении движениями функционально не дублируют одна другую, а решают разные задачи.

Баланс взаимодействия этих систем складывается как в ходе развития, так и в процессе совершенствования конкретной двигательной деятельности. При этом роль различной афферентации при различных двигательных действиях неоднозначна. Точностные действия, качество которых можно оценить, требуют постоянного зрительного контроля. Воспроизведение движений, не требующих точности или оценки качественных показателей, может даже улучшаться при отключении зрительной афферентации.

С 7 лет проприоцепция уже играет определенную роль в текущей коррекции произвольных движений и выработке пространственной программы движения, однако зрительный контроль остается ведущим звеном коррекции. Функция центрального программирования является еще несовершенной, так как программа движения не включает в себя предварительного учета фактора времени. В 9 лет отмечается перестройка механизма двигательной регуляции. В характере построения движений отчетливо проявляются при-

знаки участия в этом построении механизма центральных команд. Подавляющее большинство точностных реакций организовано как комбинация быстрого и медленного движения. В 10 лет происходит окончательное освоение растущим организмом более совершенного физиологического механизма программирования движений, обеспечивающего возможность предварительного учета не только пространственного, но и временного фактора — механизма центральных команд. Подавляющее большинство точностных реакций 10-летних детей организовано по типу быстрых движений.

Формирование центральных механизмов управления движениями в 7—10 лет идет на фоне онтогенетического развития самих движений, которые становятся одновременно более дифференцированными и интегрированными (вспомним изменение структуры шага или двигательного акта письма и их объединение в единую интегрированную структуру двигательного действия), и в то же время более стабильными и менее зависимыми от влияния различных факторов.

Очень важный момент в онтогенетическом развитии центрального механизма управления движениями отмечен у 9-летних детей: появление первичных (предварительных) коррекций. Это не просто выработка пространственной программы движения, что наблюдалось уже у детей 7-летнего возраста, а программирование движения и в пространстве, и во времени. У детей в 9 лет отмечается самый высокий по сравнению с таковым у детей всех изученных возрастов показатель точности реакций.

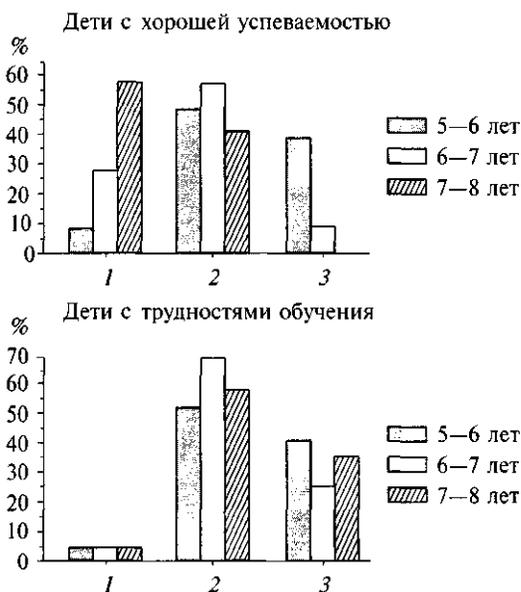
Возраст 9 лет характеризуется тем, что механизм кольцевого регулирования достигает наибольшего совершенства и вместе с тем на смену ему уже приходит более сложный, но и более экономичный механизм центральных команд. В 10 лет этот механизм можно считать освоенным. Появляется возможность реализации нового класса движений, качественно иначе строящихся и иначе управляемых, резко увеличивается скорость двигательных реакций. Например, продолжительность выполнения отдельных движений при письме сокращается почти в 3 раза. Однако механизм центральных команд у детей этого возраста еще далек от совершенства. Можно считать, что часть движений (наиболее быстрых) у 10-летних детей уже организуется по типу баллистических: за счет значительного начального ускорения достигается высокая скорость, движение на значительной части своей амплитуды выполняется с большой, почти постоянной скоростью, остановка обеспечивается резким нарастанием отрицательного ускорения. Тем не менее различие между баллистическими движениями взрослого человека и ребенка 10 лет очевидно: для ребенка характерны грубые ошибки в движениях, а движения взрослого более точны.

Мозг и поведение

Функциональное созревание мозга и системная организация когнитивной деятельности. Начало систематического обучения в школе, переход к новым социальным условиям и значительное увеличение умственной нагрузки требуют особенно пристального внимания к оценке зрелости мозга, его структурно-функциональной организации на начальных этапах школьного обучения.

Электроэнцефалограмма как показатель функциональной зрелости коры больших полушарий. Как было отмечено в предыдущей главе, к концу дошкольного возраста нейронный аппарат коры больших полушарий достигает значительной степени зрелости. Это проявляется прежде всего в организации состояния покоя как оптимального фона для интегративной деятельности мозга. К 6 годам альфа-ритм, отражающий формирование нейронных сетей, необходимых для осуществления интегративной деятельности мозга и прежде всего информационных процессов, становится доминирующей формой активности. Однако его характеристики еще далеки от характеристик зрелого типа. Кроме того, индивидуальные различия в темпах созревания ребенка определяют и существенные различия в сформированности альфа-ритма. В рассматриваемом возрастном диапазоне в области максимальной выраженности альфа-ритма — в затылочно-теменных отделах коры — выявлено три типа ЭЭГ, различающихся характером альфа-ритма (рис. 77): ЭЭГ с регулярным альфа-ритмом, ЭЭГ с нерегулярным заостренным альфа-ритмом и ЭЭГ без четкого доминирования альфа-ритма (полиморфная ЭЭГ). Последний тип наиболее характерен для детей 5–6 лет и отражает еще недостаточную зрелость коры больших полушарий. У 6–7-летних такой тип ЭЭГ обнаруживается в очень неболь-

Рис. 77. Характеристика основного ритма ЭЭГ в трех возрастных группах детей. Типы альфа-ритма: 1 — регулярный тип альфа-ритма; 2 — дезорганизованный и/или заостренный тип альфа-ритма; 3 — тип сниженной частоты или полиритмичный



шом числе случаев. Для них характерен преимущественно доминирующий, но дезорганизованный альфа-ритм. В 7—8 лет у детей с высоким уровнем развития познавательных процессов и хорошей успеваемостью преобладает первый тип ЭЭГ — регулярный альфа-ритм. Вместе с тем у детей, испытывающих трудности в обучении, как в 6—7, так и в 7—8 лет сохраняется преобладание полиморфного типа ЭЭГ. Это позволяет считать, что индивидуальная характеристика альфа-ритма, отражающая формирование функциональной организации мозга является надежным показателем готовности ребенка к обучению в школе. Дальнейшая возрастная динамика ЭЭГ характеризуется увеличением моды (ведущей частоты) альфа-ритма, к 10 годам достигающей 10—11 Гц. Альфа-ритм становится преобладающим типом активности не только в задних отделах, но и в переднеассоциативных отделах коры. Существенные изменения в младшем школьном возрасте претерпевает и пространственная организация альфа-ритма. У 8-летних детей по сравнению с 6-летними увеличиваются значения функции Кога альфа-колебаний между лобными и затылочными областями коры. Несколько позже (к 9—10 годам) усиливается локальная пространственная синхронизация альфа-ритма теменной и височных областей, играющих важнейшую роль в зрительно-пространственной деятельности. В период от 6 к 8 годам значительно возрастает межполушарная Кога альфа-колебаний лобных областей. Ее рост так же, как усиление дистантных связей лобных отделов коры с каудальными отделами, свидетельствует об усиливающейся роли переднеассоциативных структур в формировании нейронных сетей высшего порядка, играющих особую контролирующую роль в функциональной организации мозга.

Формирование процесса восприятия. Созревание коры больших полушарий и совершенствование внутрикоркового взаимодействия проявляются в изменении процесса восприятия — мозговая система, ответственная за прием и обработку внешних стимулов, переходит на другой уровень функционирования.

Зрительная проекционная кора, нейронный аппарат которой настроен на прием и анализ физических характеристик стимула, преимущественно включается в операцию выделения контурно-контрастных границ, базирующуюся на функционировании соответствующих рецептивных полей. При предъявлении черно-белого рисунка шахматного поля в ВП затылочной коры увеличивается амплитуда начального позитивного сенсорно-специфического компонента по сравнению с ответом на диффузный засвет экрана (рис. 78).

При предъявлении более сложных изображений, например схематического изображения лица, тот же позитивный компонент максимально увеличивается в ВП височно-теменно-затылочной ассоциативной зоны.

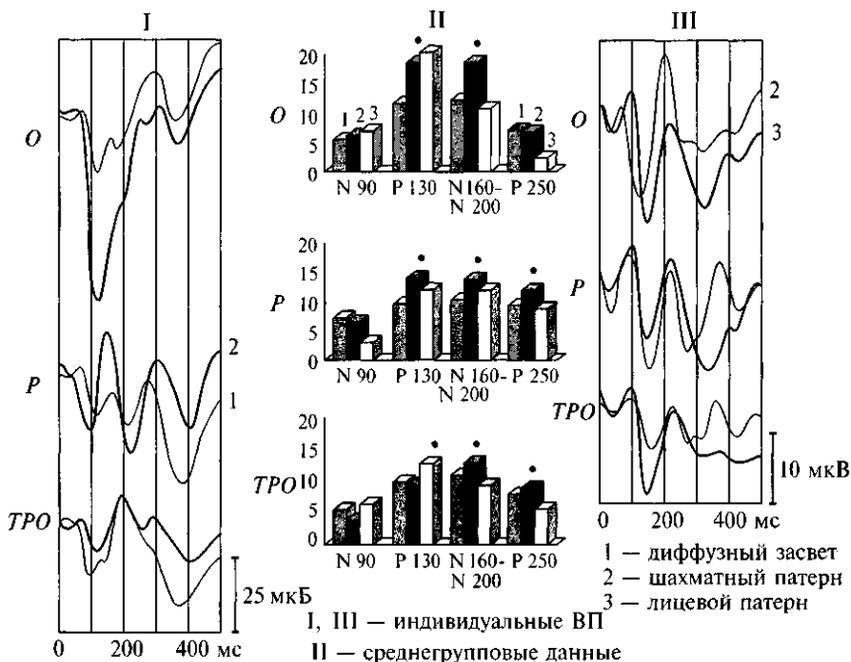


Рис. 78. Специализация каудальных областей коры в зрительном восприятии. Максимальные изменения позитивности ВП затылочной области в ответ на шахматный рисунок (I), височно-теменно-затылочной — на схематическое изображение лица (III). На II — достоверные изменения амплитуды компонентов ответа на структурированные изображения по сравнению с засветом экрана

У части детей этого возраста специализация заднеассоциативных областей выражена сильнее. В ВП височно-теменно-затылочной области начинает доминировать по амплитуде и обнаруживать максимальную реактивность, характерный для более старших детей и взрослых негативный компонент с более длительным латентным периодом. С этим компонентом связываются операции, включающие сличение со следами в памяти. Уже с 7-летнего возраста в эту операцию, а также в процесс классификации признаков объекта вовлекаются переднеассоциативные отделы коры больших полушарий.

Специализация проекционных, заднеассоциативных и переднеассоциативных областей в сенсорном анализе, запечатлении, опознании, классификации обеспечивает высокую разрешающую способность перцептивной функции, возможность восприятия новых сложных объектов и выработки соответствующих эталонов, что способствует значительному обогащению индивидуального опыта.

. Этап перехода системы восприятия на качественно иной уровень организации рассматривается как сенситивный период развития информационных процессов, составляющих основу познавательной деятельности.

Качественные изменения системы восприятия коррелируют с существенными преобразованиями проекционной зоны, и ассоциативных областей коры, где к 7 годам отмечены дифференцировка формы и увеличение размеров нейронов III ассоциативного слоя. Значительные изменения претерпевает фиброархитектоника: увеличивается ширина пучков, усложняются горизонтальные связи.

Несмотря на прогрессивное развитие, система переработки информации у 7—8-летних детей еще незрелая, и к началу обучения в школе ее возможности довольно ограничены. Так, запоминание и опознание геометрических фигур в этом возрасте осуществляется по типу взрослого, а идентификация и различение букв еще затруднены и требуют вовлечения более сложных механизмов. Инвариантность опознания в перцептивной сфере достигает высокого уровня к 6 годам. Сохраняющаяся в 7—8-летнем возрасте высокая недифференцированная инвариантность опознания становится помехой для идентификации некоторых букв и цифр, значение которых меняется при поворотах справа налево, сверху вниз (*P*, *B*) и зеркальном вращении. В то же время это не касается букв симметричной конструкции (*H*, *A*) или заглавных и строчных (*A* и *a*), сохраняющих свое значение.

Одной из причин трудностей идентификации букв может быть недостаточная сформированность их эталонов в перцептивной памяти. Возможность сличения букв с перцептивным эталоном ускоряет процесс их опознания, что важно для выработки навыка чтения. Несформированность механизмов запечатления букв необходимо учитывать при использовании критерия скорости чтения.

В младшем школьном возрасте отмечаются и особенности категоризации зрительных стимулов. Механизмы категоризации хотя и достигают определенной степени зрелости к 7 годам, но еще отличаются от свойственных взрослым. У взрослых разделительный анализ признаков, лежащий в основе категоризации, осуществляется двумя способами: на основе полного описания всех признаков объекта и на основе выбора определенного информативного разделительного признака.

Категоризация на основе полного описания является более простым процессом. Она свойственна детям раннего возраста, у которых ведущая роль в зрительном восприятии принадлежит правому полушарию, что и обеспечивает данный способ классификации. Категоризация на основе выбора ведущего разделительного признака требует сопоставления разных признаков объекта, выделения значимого при игнорировании других, незначимых

для данной задачи. Такая категоризация, которая происходит с участием левого полушария, реализуется на более поздних этапах развития.

У детей 6—7 лет правое полушарие, как и у взрослых, осуществляет полное описание объектов; левое же полушарие в процессе категоризации функционирует подобно правому.

Механизмы, обуславливающие присущую взрослым полушарную дихотомию процесса категоризации, созревают в течение длительного периода индивидуального развития за пределами младшего школьного возраста.

Мозговая организация внимания. Особенности познавательной деятельности во многом определяются спецификой мозговой организации внимания, которая в младшем школьном возрасте претерпевает значительные изменения.

В 7—8 лет механизмы внимания, как непроизвольного, еще преобладающего в этом возрасте, так и произвольного, имеют черты незрелости. Реакция активации на ЭЭГ в ответ на новый стимул проявляется как в виде зрелой формы (блокада альфа-ритма), которая в этом возрасте отличается меньшей длительностью и большим латентным периодом по сравнению с таковой у детей 9—10 лет, так и в виде активации, свойственной дошкольному возрасту (усиление тета-активности). Последнее свидетельствует о том, что активация, направленная на оценку информационной составляющей среды, еще недостаточно сформирована и сохраняется роль непосредственной привлекательности стимула и его эмоциональной окраски.

Такая активация не стимулирует и не облегчает в полной мере дальнейшего углубленного анализа нового стимула. Она направлена скорее на непосредственную оценку его эмоциональной значимости, удовлетворяя потребность ребенка во впечатлениях.

С 9—10 лет непроизвольное внимание организуется по типу взрослого: реакция активации на новый стимул проявляется в виде длительной и генерализованной десинхронизации альфа-ритма. «Распад» сложившейся в состоянии покоя системы создает оптимальные условия для формирования новых функциональных объединений и тем самым облегчает анализ информации в коре больших полушарий.

На протяжении младшего школьного возраста интенсивно формируются механизмы произвольного внимания. К концу дошкольного периода по мере прогрессивного созревания лобных областей ребенок обретает способность осуществлять простейшее планирование своих ближайших действий и управлять активационными влияниями в соответствии с задачами, сформулированными в инструкции взрослого и не всегда совпадающими с желаниями ребенка. Однако эта способность носит еще нестойкий характер, и произвольная деятельность, организованная с помо-

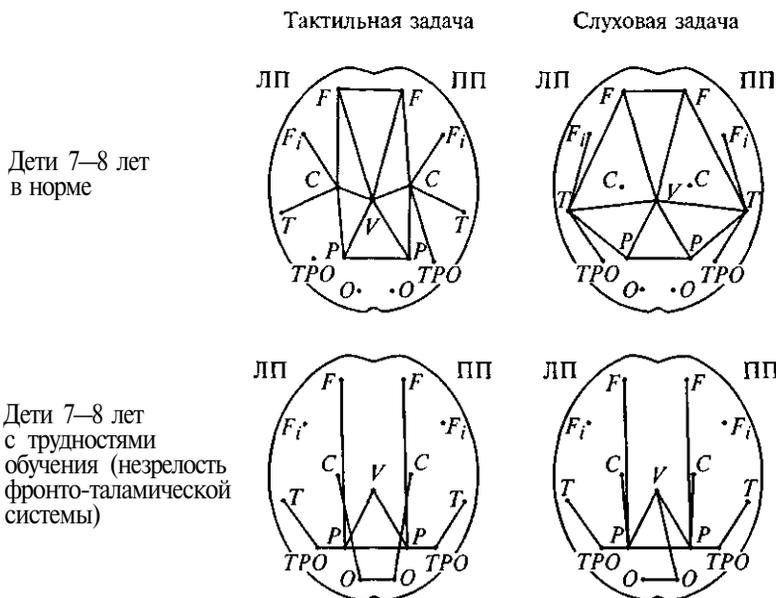


Рис. 79. Функциональные объединения областей коры при селективном внимании, обеспечивающем правильное решение перцептивной задачи у детей 7—8 лет в норме и при функциональной незрелости лобно-таламической системы, приводящей к трудностям обучения (Обозначения, как на рис. 63.)

шью внимания, легко вытесняется интересными занятиями, непосредственно привлекающими ребенка.

Анализ пространственной синхронизации основного ритма ЭЭГ с использованием оценки функции Ког показал, что в ситуации предстимульного внимания, направленного на решение сенсорных задач разной модальности (слуховой, тактильной, зрительной), формируются функциональные объединения корковых областей с фокусом взаимосвязанной активности в проекционных корковых зонах — височной при слуховой задаче, центральной — при тактильной, затылочной — при зрительной (рис. 79). Такая организация структур мозга при внимании в период, предшествующий деятельности, характерна для большинства детей 7—8 лет и создает условия для избирательного вовлечения структур в решение конкретной модально специфичной задачи, тем самым определяя его успешность. У части 7—8-летних детей, имеющих признаки функциональной незрелости лобно-таламической регуляторной системы, механизмы произвольного внимания не сформированы, в ситуации предстимульного внимания не формируются функциональные объединения, адекватные задаче.

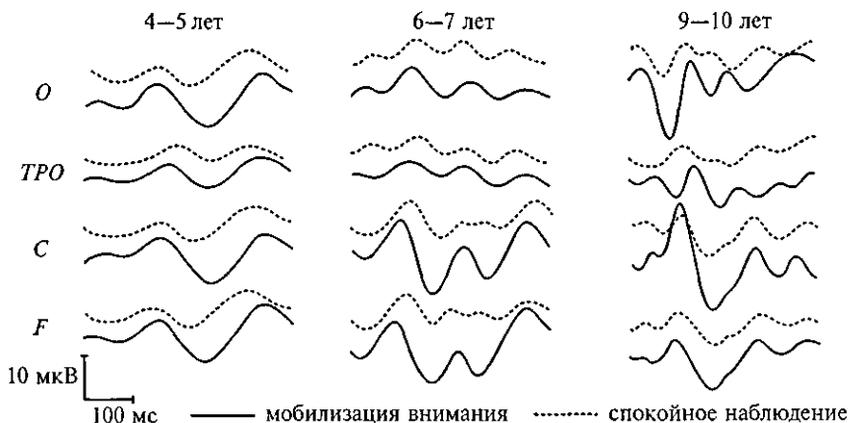


Рис. 80. Сопоставление вызванных ответов, регистрируемых от четырех областей коры — сверху вниз: затылочной, височно-теменно-затылочной, центральной и лобной при спокойном наблюдении за предъявляемыми изображениями (пунктир) и при необходимости выбора одного, значимого сигнала и быстрого реагирования (сплошная линия). Начало ответа совпадает с моментом предъявления изображения

У детей в отличие от взрослых отмечается определенная незрелость мозговой организации внимания. В 7—8-летнем возрасте отсутствует присущая взрослым специализация полушарий. У взрослых модально специфические локальные функциональные объединения характерны только для левого полушария, объединения структур правого полушария менее избирательны и носят неспецифический характер. В младшем школьном возрасте модально-специфические объединения областей коры при предстимульном внимании характерны как для левого, так и для правого полушария.

К 9—10 годам по мере дальнейших прогрессивных структурных преобразований в различных областях коры и их возрастающей специализации совершенствуются механизмы произвольного внимания. Регуляторная система обеспечивает не только избирательное вовлечение корковых зон в деятельность, но и облегчает осуществление операций, в которых они участвуют. Произвольное внимание, направленное на выделение значимого стимула, с 9—10 лет приводит к дифференцированному увлечению в каждой корковой зоне амплитуды тех компонентов ВП, которые в наибольшей степени отражают ее функциональную специализацию. Так, в зрительном ВП проекционной области при произвольном внимании по сравнению с ситуацией спокойного наблюдения максимально увеличивается компонент, отражающий анализ сенсорных характеристик стимула. В ВП ассоциативных областей увеличивается амплитуда более поздних компонентов ответа, связанных с опознаванием, оценкой значимости, принятием решения (рис. 80).

Формирующееся на протяжении младшего школьного возраста произвольное внимание, создающее возможность избирательного в пространстве и во времени активирующего влияния на отдельные области коры больших полушарий, обеспечивает эффективность решения различных задач.

Младший школьный возраст можно рассматривать как чувствительный период формирования произвольности. Используя потребность в положительном эмоциональном подкреплении, создавая условия привлекательности познавательной деятельности, взрослый может использовать высокую пластичность мозга ребенка для развития внимания к учебному материалу и направить его в русло учебной мотивации.

Произвольное запоминание. С началом обучения в школе возникает необходимость произвольного запоминания учебного материала. Возможность обработки и запоминания возрастающего объема информации, его структурирования в соответствии со значимостью и смыслом обеспечиваются включением в процесс запоминания новых механизмов структурно-функциональной организации мозга.

Перестройка системы зрительного восприятия к началу школьного обучения облегчает процесс выработки стимулов на ранее незнакомые стимулы. Тем не менее процесс формирования эталонов в 6—7 лет протекает дольше, чем в конце младшего школьного возраста. Существенно различается и объем кратковременной памяти: максимальная длина безошибочно воспроизводимого тестового ряда у детей 7 лет составляет 5,4 символа, у детей 10 лет — 6,4 символа, что приближается к показателям взрослого человека.

Важнейшим фактором, обеспечивающим произвольное запоминание, является становление в этом возрасте регуляторных мозговых механизмов, избирательно облегчающих последовательно осуществляющиеся операции по отбору, осмыслению и запечатлению информации.

Переключение системы памяти на другой уровень — от непосредственного запоминания, свойственного дошкольникам, к запоминанию, опосредованному конкретными смысловыми задачами, в младшем школьном возрасте, — требует освоения новых приемов запоминания на основе осмысления материала, а не его формального повторения.

Речь и мышление. Особая роль принадлежит развитию мозговых механизмов, обеспечивающих специфическую речевую деятельность. К этому возрасту происходят прогрессивные преобразования клеточных и волокнистых структур речевых зон (области Брока и Вернике) и отделов лобной коры, осуществляющих программирование речевой деятельности. В формировании графических форм речи (чтение, письмо) существенное значение имеет

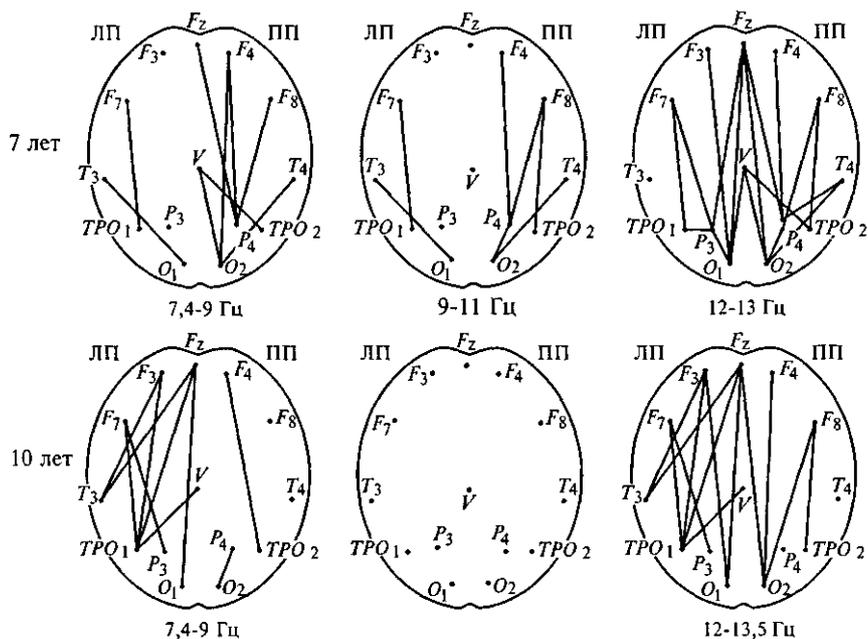


Рис. 81. Функциональные объединения областей коры больших полушарий на различных частотах основного ритма у детей 7 и 10 лет при вербальной деятельности. В 7-летнем возрасте отсутствует как избирательность частотной организации, так и четкая левосторонняя латерализация функциональных объединений. В центре внизу — схема локализации электродов

организация зрительно-пространственной деятельности, тонкая моторика и зрительно-моторная интеграция.

Механизмы, лежащие в основе этих процессов, еще недостаточно зрелые. Б 7—8 лет обнаруживается дефицитарность центрального программирования тонких точностных движений рук. Мозговое обеспечение произвольных точностных движений интенсивно формируется к 9—10 годам. Постепенно формируются и механизмы зрительно-пространственной деятельности. В организации этой деятельности в 7—8 лет участвуют и левое, и правое полушарие, в то время как с 9—10-летнего возраста — преимущественно правое.

Отсутствие четкой полушарной специализации проявляется и в характере мозгового обеспечения вербальной деятельности. У взрослых при решении зрительно предъявляемой вербальной задачи функциональные объединения нервных центров, участвующих в речевой деятельности, локализованы в левом полушарии. У детей же 7—8 лет в этот процесс генерализованно и однотипно вовлекаются структуры обоих полушарий (рис. 81). К 9—10 годам (с усилением вовлечения лобных областей в речевые процессы) приобре-

тают более избирательный характер и признаки левосторонней латерализации.

Речь является основой формирования мышления ребенка, и особенности речевой деятельности в младшем школьном возрасте определяют специфику мыслительных операций. Для 7—8 лет характерно образное мышление, основой которого является достигшее определенной степени зрелости зрительное восприятие, а средством — образ.

С развитием механизмов речевой деятельности, ее левополушарной латерализации и произвольности, ребенок приобретает способность выделять с помощью вербально-логического мышления существенные характеристики предметов и явлений, скрытые от непосредственного восприятия.

Таким образом, в младшем школьном возрасте по мере структурно-функционального созревания мозга существенно возрастают функциональные возможности ребенка.

Вопросы и задания

1. Какие особенности созревания коры больших полушарий и корково-подкорковых взаимодействий определяют успешность учебной деятельности?

2. Охарактеризуйте особенности мозговой организации внимания на этом этапе развития.

Глава 22. ПОДРОСТКОВЫЙ И ЮНОШЕСКИЙ ВОЗРАСТ

Специфика этого этапа развития, в частности подросткового возраста, в значительной мере определяется важнейшим биологическим фактором — половым созреванием. Процесс полового созревания, в особенности его начальный период, сопровождается существенными изменениями в деятельности всех физиологических систем, включая центральную нервную систему.

Нейрогуморальные механизмы полового созревания. Чем определяется столь значительное влияние полового созревания на организм подростка? Запускающим звеном этого процесса является гипоталамус. Как уже отмечалось, гипоталамус, образующий с гипофизом единую гипоталамо-гипофизарную систему, является не только важнейшей структурой регуляторной системы мозга, с которой связаны высшие нервные функции и психические процессы, но и центром нейроэндокринной регуляции физиологических систем, обеспечивающих гомеостаз. Естественно, что резкое

повышение активности гипоталамуса на начальном этапе полового созревания обуславливает резкие изменения в функционировании организма.

Чем определяется чрезмерная активность гипоталамуса на начальных стадиях полового созревания? Ответ на этот вопрос заключается в специфической связи гипоталамуса с другими железами внутренней секреции. В зрелом организме гормоны, выделяемые периферическими эндокринными железами, оказывают тормозящее влияние на высшее звено эндокринной системы. Это так называемая отрицательная обратная связь, которая играет важную роль в эндокринной функции. Она определяет возможность саморегуляции деятельности желез внутренней секреции: усиление функции железы под влиянием факторов внешней и внутренней среды и увеличение концентрации ее гормонов приводят к торможению гипоталамо-гипофизарной системы. В результате этого уменьшается выделение тропных гормонов гипофиза, стимулирующих активность периферической железы, и нормализуется гормональный баланс. На начальных этапах полового созревания незрелость периферических половых желез и отсутствие их тормозящего влияния является основным фактором, определяющим чрезмерную активность гипоталамуса. По мере созревания этих желез и формирования механизмов саморегуляции в эндокринной системе происходит нормализация активности гипоталамуса и соответственно исчезает его отрицательное воздействие на организм подростка.

Характеристика ростовых процессов, метаболизма и вегетативных функций на разных стадиях полового созревания

Начало полового созревания — I стадия — приходится у девочек и мальчиков на разный календарный возраст: у девочек это 11 — 12 лет, у большинства мальчиков 12—13 лет. Представленность стадий полового созревания у мальчиков и девочек различного возраста отражена в табл. 16.

II стадия полового созревания

Ростовые процессы. Начало пубертатного периода можно заметить по изменению темпов роста и пропорций тела. Если в предпубертатном периоде темпы роста были сравнительно низки, а удлинение тела происходило в основном за счет туловища, то с началом этого периода ускоряется рост конечностей в длину. В первую очередь увеличивается длина рук, затем ног. В результате на смену детскому телосложению с пропорциональным развитием тулови-

ща и конечностей приходит подростковый, голенастый тип, для которого характерна некоторая длиннорукость и длинноногость.

Отставание в темпах роста туловища, наблюдающееся в начале подросткового периода, имеет глубокие физиологические последствия и сказывается на динамике развития всех внутренних органов. Так, в этот период замедляется рост сердца, и соответственно его функциональные возможности могут временно отставать от потребностей растущего тела. Тормозится прирост легочных объемов, и соответственно снижаются функциональные возможности дыхательной системы. В первую очередь это сказывается на кислородном снабжении работающих мышц.

Таблица 16

Представленность стадий полового созревания у мальчиков и девочек 7—17 лет (в %)

Возраст, годы	Мальчики				Девочки			
	I	II	III	IV—V	I	II	III	IV-V
7	100	—	—	—	—	—	—	—
8	100	—	—	—	99	1	—	—
9	100	—	—	—	90	10	—	—
10	98	2	—	—	67	32	1	—
11	44	6	—	—	39	51	8	2
12	71	25	4	—	10	42	28	20
13	33	35	26	6	1	12	38	49
14	9	27	44	20	—	4	17	79
15	2	7	36	55	—	1	11	88
16	—	1	14	85	—	—	—	100
17	—	—	4	96	—	—	—	100

Примечание. Частота встречаемости в процентах определена по возрастным группам, на каждую из которых приходилось от 139 до 245 человек.

Скелетные мышцы конечностей интенсивно растут, однако больших изменений в строении мышечных волокон не происходит, т.е. качественные характеристики мышц остаются теми же, что и в предпубертате. В то же время биохимическая ситуация в мышечных клетках (волокнах) из-за усиления процессов синтеза, необходимых для роста, существенно меняется: энергетический обмен в клетках становится более напряженным и менее устойчивым. Особенно напряженно вынуждены работать митохондрии, обеспечивающие клетку необходимым резервом АТФ за счет окисления углеводов и жиров. В этой ситуации любые дополнительные затраты энергии (например, связанные с повышением

двигательной активности выше определенного уровня) приводят к использованию менее экономичных, но зато безотказных анаэробных источников энергетического обеспечения. В результате происходит активация процессов анаэробного (бескислородного) гликолиза, в мышцах и крови накапливается молочная кислота, это приводит к нарушению внутренней среды организма (гомеостаза), что отрицательно сказывается на мышечной работоспособности подростков. Другое следствие описанных биохимических сдвигов — снижение возможности длительно поддерживать постоянный уровень функциональной активности, так как для этого необходимо, чтобы митохондрии работали в наиболее благоприятном режиме, а этого нет. Отсюда временное уменьшение выносливости и работоспособности.

Следует подчеркнуть, что у подростков, регулярно занимающихся спортом, такого ослабления работоспособности не наблюдается, так как адаптация к мышечной деятельности позволяет им с минимальными потерями преодолевать этот сложный возрастной этап. Однако и существенных приростов в циклических видах мышечной деятельности не происходит. На состоянии работоспособности сказываются поведенческие стереотипы. Появление первых признаков пубертата связано с резким снижением двигательной игровой активности, которая до этого была естественным тренингом, поддерживающим необходимый уровень физической работоспособности. С этого возраста двигательная активность школьника в основном определяется развитием нового комплекса мотиваций, обуславливающих необходимость систематических занятий физической культурой (например, желанием достичь известных спортивных результатов).

При планировании занятий физической культурой с подростками на II стадии полового созревания необходимо учитывать, что их аэробные возможности ограничены даже по сравнению с более младшими детьми. Поэтому развитие общей выносливости затруднено, и основное внимание при организации занятий должно быть уделено развитию скоростно-силовых качеств, а также ловкости.

Кровообращение. Возникающие в этом возрасте ограничения в кровоснабжении затрагивают не только мышцы, но и другие органы, включая головной мозг. Так, объемная скорость кровотока в сосудах мозга временно снижается.

III стадия полового созревания

Скачок роста. Наступление этой стадии сопряжено с изменением ростовых процессов. Темпы роста конечностей несколько замедляются, тогда как рост туловища ускоряется. Именно на это время приходится наиболее высокие скорости роста массы и дли-

ны тела, т.е. все то, что обычно называют *пубертатным скачком роста*. Рост костей в длину становится преобладающим, отставание в росте мышц и жирового компонента создает впечатление, что подросток худеет.

Жироотложение. Увеличение темпов роста продольных размеров тела обусловлено тем, что главная железа внутренней секреции — гипофиз наряду с гонадотропинами начинает в большом количестве секретировать гормон роста — соматотропин. Этот гормон активирует ростовые процессы и энергетическое обеспечение организма. Под его действием увеличивается использование жировых депо для энергетических нужд: подросток худеет, толщина подкожного жирового слоя у мальчиков заметно уменьшается. Это проявляется даже у подростков, имеющих избыточное жироотложение. В этот период наиболее эффективны разнообразные корректирующие воздействия, направленные на нормализацию жирового обмена и снижение избыточного веса. Однако количество жировых клеток при этом не изменяется, они только теряют часть накопленного жира и уменьшаются в объеме. Поэтому не следует обольщаться успехом тех мер, которые принимаются для нормализации массы тела в этом возрасте: они могут быть временными. Если внимание к этому в дальнейшем будет ослаблено, то жировые депо по завершении полового созревания вновь быстро будут заполняться жиром, и проблема избыточного веса встанет с новой силой. Чтобы этого не допустить, необходимо раннее и обязательно систематическое проведение мероприятий, не допускающих избыточного жироотложения (рациональная диета, регулярные физические нагрузки, закаливание).

Кардиореспираторная система. Увеличение размеров туловища сопряжено с повышением темпов роста грудной и брюшной полостей. Быстро растут сердце и легкие, увеличиваются жизненная емкость легких и ударный объем сердца. Несмотря на снижение частоты сокращений сердца почти до уровня взрослых (70 уд/мин), объемная скорость кровотока в этот период увеличивается. Это создает возможность для снабжения органов и тканей кислородом при их напряженной работе. Так, именно в эти годы при мышечной работе отмечаются самые высокие значения максимального потребления кислорода (в расчете на 1 кг массы тела) за весь период индивидуального развития.

Мышцы. Такая особенность кислородного обеспечения сократительной активности скелетных мышц связана не только с преобразованиями в системе доставки кислорода, но и с характером энергетического метаболизма в самой ткани скелетных мышц. Мышцы вступают в этап так называемых пубертатных дифференцировок, в ходе которых меняется метаболический профиль многих волокон. III стадии полового созревания соответствует первая фаза мышечных пубертатных дифференцировок, когда большин-

ство волокон приобретает выраженные черты «аэробности»: увеличивается размер и количество митохондрий, растет активность окислительных ферментов. Все это, с одной стороны, необходимо для дальнейшего роста и развития мышц, с другой — представляет собой энергетическую базу для реализации сократительной функции на основе аэробного энергообеспечения.

Работоспособность. Перестройка в структуре скелетных мышц не может не сказаться на мышечной работоспособности. Отмечается некоторое увеличение физических возможностей подростков при выполнении циклической работы, особенно в зонах большой и умеренной мощности. На этой стадии полового созревания эффективны тренировки общей выносливости. Однако необходимо помнить, что пубертатные перестройки в организме еще далеки от завершения, и следует соблюдать большую осторожность в наращивании интенсивности и объема тренировочных нагрузок. С другой стороны, тренировка силовых и скоростно-силовых качеств в этот период малоэффективна, и применение таких нагрузок на занятиях физической культурой должно быть ограничено.

Периферическое кровообращение и терморегуляция. Увеличение объемной скорости кровотока приводит к усилению тока крови через кожные сосуды. При этом заметно повышается температура кожи, особенно конечностей, что является довольно характерным признаком наступления III стадии как у мальчиков, так и у девочек. Однако расширение сосудов кожи снижает возможности физической терморегуляции, и для поддержания постоянства температуры тела необходимо увеличение производства тепла, т.е. использование химической терморегуляции. Этот способ поддержания температурного баланса организма менее экономичен, и в регуляции температурного гомеостаза происходит регресс, что в свою очередь ограничивает эффективность закаливающих процедур и может привести к более частому возникновению простудных заболеваний.

Глубокие перестройки, происходящие в сердечно-сосудистой системе, повышают риск появления вегетососудистых дистоний и подростковой гипертонии. Это необходимо учитывать при определении школьной нагрузки подростков.

IV стадия полового созревания

Ростовые процессы. Завершается пубертатный скачок роста, причем все отчетливее выявляются индивидуальные морфофункциональные особенности, формируется тип телосложения, во многом связанный с физиолого-биохимической организацией и адаптивными возможностями организма. Рост конечностей и туловища несколько замедляется. Наиболее характерная особенность

ростовых процессов — увеличение широтных размеров туловища. У мальчиков преимущественно нарастают размеры плечевого пояса, у девочек — тазового. На этом этапе формируются характерные признаки типа телосложения. У представителей торакального типа телосложения длиннотные размеры грудной клетки намного превышают широтные, тогда как у представителей мышечного и особенно дигестивного типов широтные размеры грудной клетки становятся почти равными длиннотным. Сложившийся в этом возрасте тип телосложения определяет особенности последнего на протяжении многих лет жизни человека и в дальнейшем лишь в небольшой степени изменяется под воздействием внешних условий. Роль генетических и средовых факторов в формировании типа телосложения до конца не изучена, однако высокий консерватизм морфофункционального статуса в зрелом возрасте свидетельствует о значительной роли наследственности. Тем не менее в ряде случаев условия труда сказываются на телосложении. Так, тяжелый физический труд, связанный с выполнением большого объема статической работы (работа грузчика, стеклодува и т.д.), приводит к увеличению поперечных размеров грудной клетки.

Система дыхания. Продолжается развитие легких, их жизненная емкость приближается к уровню таковой у взрослых. Увеличивается диаметр и длина трахеи и бронхов. Существенные изменения происходят у мальчиков в строении гортани: развивается система гортанных хрящей и голосовых связок. У них эта перестройка выражена гораздо сильнее, чем у девочек, так как важнейшим регулятором ростовых процессов в гортани является мужской половой гормон — тестостерон. Результат этих морфологических изменений заметен по мутации голоса: у мальчиков-подростков появляются низкие обертоны и постепенно вытесняются высокие детские тоны.

Система кровообращения. Сердце и сердечно-сосудистая система изменяются сравнительно мало. Размеры сердца увеличиваются пропорционально массе тела, однако сосудо-двигательные реакции меняются по сравнению с таковыми на предыдущем этапе мало, и в целом регуляция центрального и периферического кровообращения остается практически такой же, как и на III стадии полового созревания. По-прежнему часто встречаются вегетососудистая дистония и подростковая гипертония.

Скелетные мышцы. Под влиянием половых гормонов (особенно тестостерона) наступают значительные изменения в развитии мышечных волокон. Начинают быстро увеличиваться в поперечнике белые волокна (II тип), обладающие мощным сократительным аппаратом и преимущественно анаэробным механизмом энергообеспечения. Эти волокна к концу IV стадии составляют до 50 % общего объема мышц. Абсолютное количество волокон I типа при этом практически остается неизменным, что в конечном счете

приводит к появлению качественно новой структуры всех смешанных мышц человека. Именно в этот период формируются те энергетические возможности и сократительные свойства скелетных мышц, с которыми человеку суждено прожить всю оставшуюся жизнь (не считая периода старения, когда скелетные мышцы подвергаются деструктивным изменениям). На окончательное формирование свойств мышц влияет и гормональный фон, и характер двигательной активности человека (особенно целенаправленная тренировка), но в значительной мере эти свойства обусловлены генетическими факторами, тесно связанными с типом телосложения. В этом возрасте по составу скелетных мышц можно выявить потенциальных чемпионов, особенно в таких видах спорта, где наследственность играет ведущую роль.

Работоспособность. Качественные изменения, происходящие в строении скелетных мышц, самым непосредственным образом влияют на их функциональные возможности. Так, максимальное потребление кислорода, по относительной величине которого принято судить об аэробной производительности организма, обычно не только не растет, но даже может снижаться, если не проводить специальных тренировок, направленных на поддержание и развитие аэробных возможностей. Это обуславливается снижением относительного количества красных (аэробных) медленных волокон I типа в составе смешанных скелетных мышц. Тем не менее физические возможности подростка на этой стадии повышаются. Это обеспечивается созреванием механизмов регуляции сократительной активности мышечных волокон и межмышечной координацией. Появление четко различающихся между собой по функциональным свойствам мышечных волокон дает то преимущество, что мышца может реагировать на исходящий из нервных центров импульс-приказ строго прицельно, а потому наиболее экономично. Дифференцировка мышечных волокон, завершающаяся на IV стадии полового созревания, создает благоприятные условия для тренировки всех двигательных качеств. Повышается надежность работы скелетных мышц, а вместе с ней значительно, во много раз, увеличивается работоспособность.

Белые (анаэробные) волокна, бурно развивающиеся в этот период, обладают целым рядом положительных свойств: они толще, а следовательно, скорость их сокращений выше; они не нуждаются в доставке кислорода во время работы и не зависят от функциональных возможностей кровообращения и дыхания. За счет анаэробных процессов у подростков этой возрастной группы существенно расширяется зона субмаксимальной и максимальной относительной мощности. Поэтому в эти годы можно эффективно развивать скоростные, силовые и скоростно-силовые качества; можно целенаправленно готовить бегунов на средние дистанции и спринтеров, штангистов и борцов, метателей и прыгунов. Более

ранняя специализация во всех этих видах спорта нередко оборачивается нарушениями в развитии и бессмысленными потерями как для тренеров, так и для самих юных спортсменов.

Работоспособность в зонах умеренной и большой мощностей, где энергообеспечение зависит от своевременной доставки кислорода, также увеличивается. Это связано в первую очередь с улучшением координации в деятельности вегетативных функций при мышечной работе.

Начиная с этого возраста комплексный подход к развитию двигательных качеств школьников наиболее эффективен. Созревание быстрых скелетно-мышечных волокон и нервных спинальных центров, управляющих их сокращением, значительно уменьшает время двигательных реакций, позволяет совершенствовать силу, а также ловкость и другие проявления координации движений. Исчезает угловатость движений, формируется их пластичный рисунок. Не случайно с этого времени подростки начинают увлекаться танцами.

Энергетика. Изменения, происходящие в морфофункциональном статусе организма, и прежде всего увеличение массы тела, сказываются и на процессах обеспечения организма энергией, что приводит к заметному возрастанию суточной потребности в пище. В среднем она составляет 12 МДж (2900 ккал). Однако индивидуальные колебания достаточно велики — от 8 до 16 МДж. Это зависит от многих факторов, и в первую очередь от массы тела и уровня основного обмена на единицу массы, т.е. тех неперенных затрат энергии, которые обязательны для поддержания устойчивой работы постоянно функционирующих органов. Не все ткани организма с равной скоростью расходуют энергию: для печени, мозга, почек и некоторых других органов характерен сравнительно интенсивный обмен; мышцы, а также кожа и некоторые другие ткани в состоянии покоя расходуют мало энергии; доля энергетических затрат жировых клеток и костной ткани относительно всех энергетических затрат организма незначительна.

У представителей торакального типа телосложения относительно велики размеры печени, легких и других органов с высоким уровнем энергетического обмена — для них характерен и более высокий уровень основного обмена. У подростков с дигестивным типом телосложения значительную часть массы тела составляет метаболически инертный жир, у них величина основного обмена на единицу массы тела значительно ниже. Уже одного этого различия в телосложении достаточно, чтобы величины основного обмена у подростков с разным типом телосложения различались на 20—30 %. В этом же состоит основная причина различий в интенсивности энергетического обмена у мужчин и женщин: в женском организме всегда количество жира в 1,5—2 раза больше, чем в мужском при одинаковых росте и массе тела.

Значительные различия в потребностях в пище связаны с различиями затрат на движение. К этому возрасту спонтанная двигательная активность снижается, однако у некоторых подростков ощутимо повышается специализированная двигательная активность, связанная с трудовыми процессами или спортом. Поскольку затраты на движение в среднем составляют половину суточных энергозатрат, подростки с высокой и низкой двигательной активностью могут очень существенно различаться по потребности в пище.

Потребление пищи должно соответствовать минимальным потребностям человека с учетом его телосложения и двигательной активности. Часто худые люди едят много, но не толстеют, тогда как некоторые тучные, как ни ограничивают себя в еде, избавиться от лишнего веса не могут. Регулярность в приеме пищи, ее качественный состав и количество — важнейшие компоненты оптимального физиолого-гигиенического воспитания в подростковый период, особенно на IV стадии полового созревания, когда формируются многие поведенческие стереотипы, определяющие дальнейший жизненный путь. Особое внимание следует уделять тем подросткам, которые имеют избыточный вес. Это бывает связано с гормональными нарушениями, но чаще всего они вторичны, а первично — нарушение пищевого поведения (подросток привыкает много есть и при этом мало двигаться).

Жировые депо в этом возрасте характеризуются большой динамичностью: идет интенсивный *липолиз* (распад жиров) и новый их синтез. При терморегуляционном термогенезе, вызванном длительным воздействием низких температур, активируется окисление жиров. Значительным потребителем продуктов липолиза являются и скелетные мышцы, функционирующие в стационарном режиме в зоне умеренных (аэробных) нагрузок. Поэтому полезны игры на свежем воздухе, плавание, пеший и водный туризм.

V стадия полового развития

Наступление этой стадии у девочек в большинстве случаев происходит в 15—16 лет, реже — в 13—14, у мальчиков в основном в 16—17, иногда в 18 лет, т.е. уже не в подростковом, а в юношеском возрасте. Темп полового созревания во многом определяется наследственностью, в частности типом телосложения. Так, у представителей астенического и астеноторокального типов половое созревание происходит сравнительно медленно, а половая зрелость наступает в возрасте 16—17 лет. У подростков мышечного и дигестивного типов половое созревание завершается в среднем на 1,5—2 года раньше. Люди с разным типом телосложения не только различаются внешне, их физиологические системы также функ-

ционируют по-разному (табл. 17). Поэтому определение типа телосложения имеет важное значение для индивидуальной характеристики подростка и юноши.

Приблизительно определить тип телосложения можно при помощи весоростового индекса. Для этого величину веса тела в килограммах нужно разделить на величину роста в метрах, возведенную в третью степень. Так, например, если вес тела 15-летнего мальчика 64 кг, а рост 1,76 м, то индекс равен $64-1,76^3 = 11,7$, т.е. его телосложение ближе всего к мышечному типу. В табл. 18 приведены весоростовые коэффициенты, характерные для представителей различных типов телосложения в возрасте от 7 до 16 лет.

Таблица 17

Морфофункциональные свойства, характерные для людей разных типов телосложения

Морфофункциональные свойства	Тип телосложения		
	дигестивный	мышечный	торакальный
Внешние признаки: кости скелета плечи конечности	Широкие Не шире бедер Сравнительно короткие	Широкие Шире бедер Средние	Узкие Немного шире бедер Сравнительно длинные
Угол между нижними ребрами (эпигастральный)	Тупой	Прямой	Острый
Функциональные свойства: объем легких мышечная сила выносливость	Относительно малый Большая Малая	Средний Большая Средняя	Относительно большой Малая Большая

Таблица 18

Весоростовой индекс у детей школьного возраста с разным телосложением

Тип телосложения	Возраст, годы									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Дигестивный	13,8	13,7	13,5	13,2	13,1	12,9	12,8	12,8	12,7	12,7
Мышечный	12,6	12,6	12,3	12,1	12,06	11,8	11,8	11,8	11,8	11,9
Торакальный	11,8	11,4	11,1	11,1	10,9	10,7	10,6	10,9	11,0	11,4

Физическое развитие. Обычно считается, что на завершающих этапах полового созревания, к началу юношеского возраста, основные физиологические системы уже созрели. Однако данные, полученные в последнее время, свидетельствуют, что это далеко не так. Результаты антропометрических измерений по 26 показателям свидетельствуют о том, что в этом возрасте продолжают изменения в соотношении различных частей тела (его длины, ширины плеч, ширины тела). Эти преобразования тесно связаны с изменениями гормонального фона. Хотя внешние признаки указывают на завершение полового созревания, однако существенные гормональные перестройки, связанные с половым созреванием, еще продолжаются. В юношеском возрасте устанавливаются новые взаимоотношения между отдельными звеньями эндокринной системы, обеспечивающие совершенствование регуляторных процессов и их экономизацию.

Вегетативные функции. Важнейшая физиологическая особенность этого этапа развития — резкое расширение резервных возможностей органов и систем вегетативного обеспечения. Это расширение идет двумя путями: за счет развития функциональных возможностей периферических органов (к 17 годам системы вегетативного обеспечения выходят по большинству показателей на зрелый уровень функционирования) и за счет совершенствования центральных механизмов управления. В качестве примера рассмотрим процессы, связанные с мышечной деятельностью и ее вегетативным обеспечением. Периферическим звеном здесь являются скелетные мышцы. Хотя их строение в основном определено уже на предыдущем этапе развития, когда закладываются соотношения волокон различных типов (формируется метаболический и функциональный профиль), созревание волокон продолжается и в юношеском возрасте. Это проявляется в увеличении размеров (поперечника) волокон, их гликогеновых и жировых запасов. Все это существенно раздвигает рамки функциональных возможностей мышц. Одновременно повышается качество регулирования. На смену неэкономичным реакциям приходят очень специфичные, оптимальные по величине изменения именно тех показателей деятельности вегетативных систем, от которых зависит успешное решение двигательной задачи. Экономизация реакций проявляется, например, в резком снижении чувствительности дыхательного центра: одно и то же увеличение напряжения углекислого газа в крови приводит в юношеском возрасте к значительно меньшим сдвигам в легочной вентиляции, чем у детей и подростков. Более экономичными становятся терморегуляторные реакции как при изменении температуры окружающей среды, так и во время мышечной деятельности. При мышечной работе, умеренной и большой мощности, между системами кровообращения, дыхания, терморегуляции и другими вегетативными системами

отрабатывается тонкое взаимодействие, основанное на установлении минимального числа необходимых взаимосвязей, и лишь при утомлении оптимизация этих взаимодействий нарушается.

Работоспособность. В результате всех этих изменений, затрагивающих периферические и центральные физиологические механизмы, резко возрастает надежность функционирования всех систем организма. Это значительно повышает работоспособность. Юноша может выполнить объем работы (при сопоставимой ее интенсивности) примерно в 20—30 раз больший, чем ребенок 9—10 лет. Такое колоссальное увеличение работоспособности — результат не только увеличения размеров тела и структурных перестроек, но и оптимизации регуляторных процессов: совершенствуется как гормональная, так и нервная регуляция.

Организация движений. Возраст от 11—12 до 14—15 лет отличается большой индивидуальной вариативностью движений, индивидуальной спецификой их формирования и развития. На этом этапе развития происходит интенсивное формирование связей в системе регуляции движений.

11 лет — возраст совершенствования способности центральных структур к интеграции афферентных и эфферентных сигналов, обеспечивающей высокое качество биодинамических характеристик движения. Однако эндокринные перестройки, связанные с половым созреванием, оказывают свое влияние на механизмы регуляции движений. Точностные движения 11-летних детей наиболее близки к движениям взрослых и отличаются от них только по показателю точности и максимальным значениям скоростей и ускорений. Совершенствование управления движениями от 10 к 11 годам идет не только по пути улучшения количественных и качественных параметров движения (максимальная скорость, точность) и приближения их к показателям взрослых, но и по линии совершенствования механизма взаимодействия мышц сгибателей и разгибателей. Именно это взаимодействие обеспечивает точное соответствие программируемых характеристик движения конкретным пространственным условиям. К 11—12 годам улучшаются функции бинокулярного, монокулярного, центрального и периферического зрения, а после 12 лет монокулярная оценка удаленности предмета становится достаточной для исполнения точного моторного действия рукой. Возраст 12 лет оказывается «переломным» и для бинокулярного контроля за движениями. К 13—14 годам уже достаточно развиты зрительно-моторные функции, обеспечивающие точность многих двигательных действий (попадание, метание в цель).

На предыдущем возрастном этапе основным видом коррекции по ходу движений была зрительная информация, а в 13—15 лет эта роль переходит к мышечной чувствительности. При этом наиболее интенсивный прирост точности движений характерен для движений, выполняемых обеими руками (бимануальных).

Таким образом, для двигательной системы ребенка на рассматриваемом этапе онтогенеза характерно совершенствование интеграции ее функциональных элементов и одновременно усиление относительной независимости ряда регулируемых подсистем. Об этом свидетельствуют интенсивное развитие к 14—15 годам билатеральной регуляции движений руки, совершенствование функции управления точностью движений, меньшая зависимость процессов регуляции от объема и характера экстерорецептивной и кинестетической афферентации.

Исследование центральных механизмов регуляции произвольных движений выявило, что к концу подросткового возраста формируется близкий к дефинитивному тип вовлечения переднецентральных отделов коры в реализацию двигательной деятельности. Однако период полового созревания и связанное с ним изменение функционального состояния организма определяют специфику центральной регуляции движений на этом этапе развития, несколько замедляя ее совершенствование и даже ухудшая ее в периоды наиболее интенсивной гормональной перестройки всех функций организма.

По-видимому, на определенном этапе онтогенеза, скорее всего в юношеском возрасте, когда у большинства школьников сформирован дефинитивный тип функционального реагирования и взаимодействия отдельных зон коры, когда пространственная точность, скорость и другие параметры движений в меньшей мере зависят от характера и объема экстерорецептивной и кинестетической афферентации, когда по биомеханическим показателям отмечается относительная автономность двигательных функций, их пластичность и в то же время стабильность, наиболее высокой стадией развития механизмов регуляции движений является самопроизвольный выбор «задачи действия», определяющей не только временные и качественные параметры движения, но и стратегию корковой регуляции движений.

Структурно-функциональная организация мозга. Как показало изучение цито- и фиброархитектоники коры больших полушарий, изменение ее нейронного аппарата продолжается и в подростковом возрасте. Происходит дальнейшая тонкая дифференцировка нервных клеток, в результате которой изменяется соотношение клеток разных типов. Общим для всех областей коры, как проекционных, так и ассоциативных, является увеличение процентного содержания пирамидных клеток за счет уменьшения количества переходных форм. Возрастает и представленность звездчатых клеток вставочных нейронов, играющих важнейшую роль в интегративной деятельности мозга. Важно, что динамика созревания этих нейронов различна в функционально различных областях коры. На ранних этапах развития в проекционных зонах коры созревают звездчатые нейроны, включающиеся в начальный ана-

лиз сенсорных стимулов, а в подростковом возрасте их доля снижается. Иная закономерность характерна для лобных областей коры. В этих структурах в период от 13 до 16 лет отмечено увеличение процентного содержания не только пирамидных клеток, но и звездчатых нейронов, выявляется также особый тип пирамидно-звездчатых клеток, которые сочетают переключательную и эффекторную функции. Наличие этих клеток, по-видимому, способствует, с одной стороны, совершенствованию процессов обработки информации, а с другой, — более быстрому и экономичному осуществлению регуляторного влияния лобной области на другие структуры мозга. Типизация и специализация нейронов, а также усложнение фиброархитектоники коры на этапе развития приводит к дальнейшему совершенствованию ансамблевой организации нейронов. Казалось бы, столь существенные прогрессивные преобразования высших отделов мозга должны привести к выраженной положительной динамике интегративных процессов, лежащих в основе реализации целенаправленного поведения и психики подростка. Однако это совсем не так. Важнейшим фактором, влияющим на функциональную организацию мозга, являются эндокринные изменения, связанные с половым созреванием, которое начинается у девочек в 12 лет, у мальчиков — в 13—14. Начало полового созревания характеризуется резким повышением активности центрального регуляторного звена эндокринной системы — гипоталамо-гипофизарного комплекса. Гипоталамус является одной из важнейших подкорковых структур, частью лимбической системы — главного регуляторного звена, его повышенная активность приводит к существенным изменениям баланса корково-подкоркового взаимодействия. Результатом такого изменения является наличие в ЭЭГ подкорковых диэнцефальных знаков — комплексов высокоамплитудной волновой активности, которые в ЭЭГ зрелого типа наблюдаются только при функциональных и органических нарушениях диэнцефальных структур, а также в увеличении представленности тета-ритма, связанного с активностью лимбической системы. Отмечаются некоторые «регрессивные» сдвиги параметров альфа-ритма: снижаются его мощность и показатели пространственной синхронизации. Следует подчеркнуть, что в связи с различием в темпах полового созревания у мальчиков и девочек и приуроченностью отрицательных сдвигов не к календарному возрасту, а к начальным (II—III) стадиям полового созревания, отрицательные отклонения в параметрах ЭЭГ у мальчиков и девочек приходится на разный календарный возраст: у девочек — на 12—13, у мальчиков — на 13—14 лет.

На завершающих этапах полового созревания отрицательные отклонения в ЭЭГ нивелируются, к 16—17 годам значительно уменьшается выраженность характерных для пубертата диэнцефальных знаков. В юношеском возрасте по окончании полового созре-

вания параметры ЭЭГ стабильны, частота альфа-ритма увеличивается, формируется характерная для каждого индивида картина ЭЭГ, совершенствуется пространственная организация альфа-ритма, возрастает значение функции Кога в переднеассоциативных областях, что отражает роль этих структур в организации нейронных сетей. Динамика ЭЭГ показателей соответствует прогрессивным возрастным преобразованиям в коре больших полушарий.

Изменения в ансамблевой организации нервного аппарата коры больших полушарий продолжают и за пределами подросткового периода вплоть до достижения зрелости. Особенно существенные изменения в 18—20-летнем возрасте происходят в лобных отделах коры, где значительно усложняются межнейрональные связи. О возрастающей активности нейронных ансамблей на этом этапе онтогенеза свидетельствует развитие тех элементов ансамбля, которые обеспечивают метаболизм нервных клеток. В составе ансамбля выявляются клетки глиоцита с очень большим содержанием нуклеиновых кислот. Как структурно-функциональная основа интеграции и обработки информации нейронные ансамбли в юношеском возрасте достигают дефинитивного (зрелого) типа.

Когнитивные процессы. В подростково-юношеском возрасте формируется система восприятия зрелого типа с характерной специализацией полушарий в отдельных сенсорных и когнитивных операциях: правому полушарию принадлежит ведущая роль в выделении признаков и осуществлении начальных этапов анализа стимула и сенсорного запечатления, левое приобретает ведущую роль в осуществлении классификационного типа опознания на основе определения разделительного признака и в осуществлении заключительных этапов восприятия: оценке значимости стимула, принятии решения, запечатлении обработанной информации.

В ВП эта полушарная специализация отражается в большей амплитуде начального компонента в правой затылочной области, а позднего позитивного комплекса — в лобных областях левого полушария. Существенно изменяются механизмы регуляции, что проявляется в особенностях организации внимания.

На начальных этапах полового созревания механизмы внимания претерпевают значительные изменения. В ЭЭГ в ситуации непроизвольного внимания обнаруживается снижение реактивности альфа-ритма и/или усиление тета-волн, которое свойственно ранним этапам развития и отражает эмоциональный компонент активации, в то время как к концу младшего школьного возраста уже в полной мере сформирована реакция в виде блокады альфа-ритма, отражающая информационный тип активации и связанная с активным участием коры больших полушарий в организации внимания. Регрессивные отклонения отмечены и при организации произвольного внимания, задаваемого словесной инструкцией. При оценке пространственной синхронизации ритмических составляю-

ших ЭЭГ обнаруживается снижение (по сравнению с таковой у 9—10-летних) избирательности в организации межцентральных связей, приобретающих на начальных этапах полового созревания диффузный генерализованный характер. Отрицательные сдвиги на II—III стадиях полового созревания характерны и для произвольной регуляции сенсорной функции. В то время как к 9—10 годам выявляется дифференцированное влияние мобилизационной готовности на организацию сенсорных процессов, проявляющееся в избирательном облегчении отдельных компонентов регионарных ВП в соответствии с операциями, осуществляемыми в каждой из корковых зон, у подростков в той же экспериментальной ситуации достоверные изменения компонентов ВП не обнаруживаются. Более того, у части подростков обнаруживается не усиление отдельных компонентов ВП, а снижение их амплитуды.

Отмеченным изменениям нейрофизиологических механизмов соответствуют хорошо известные отклонения нервно-психического статуса и поведения подростка (повышенная нервозность, утомляемость, эмоциональность, снижение адаптационных возможностей ЦНС), отмечаются и определенные отклонения в реализации познавательной деятельности.

Особенности функционирования регуляторной системы на начальных стадиях полового созревания определяют значительные трудности осуществления учебной деятельности и развития познавательной мотивации, на нее направленной. Часто подростки на уроках находятся как бы в состоянии протрации — внимание кажется полностью исчезнувшим из познавательной активности.

Нужны специальные педагогические приемы, направленные на поддержание внимания и развитие интереса к учебному материалу. Учитель может использовать эмоциональные факторы и мотивационный компонент — стремление подростков утвердить себя среди сверстников. Известно, что стимулирующая роль социальных мотиваций у подростков чрезвычайно велика.

На завершающих этапах пубертатного периода при формировании устойчивого взаимодействия звеньев эндокринной системы прекращается отрицательное дестабилизирующее влияние полового созревания на функциональную организацию мозга, реализацию процесса внимания и структуру мотивационной сферы.

Наблюдается адекватная ситуации экономная функциональная организация ритмов ЭЭГ, отражающая образование локальных функциональных объединений при предстимульном внимании и регионально-специфичными изменениями ВП в постстимульном периоде анализа и обработки информации. После предупреждающей инструкции, предусматривающей как можно более быстрое реагирование на значимый зрительный стимул, в затылочных областях увеличивались начальные компоненты ВП. Усиление поз-

дних компонентов отмечалось не только в переднеассоциативных областях, как это имело место в 9—10 лет, но более генерализованно, во всех областях коры. Это отражает взаимосвязанность различных областей коры на заключительных этапах обработки информации и организации ответных действий.

В процессе реализации зрительно-пространственной и вербальной деятельности формируются экономные избирательные объединения мозговых структур, вовлекаемых в конкретную деятельность.

Вместе с тем следует отметить, что у части юношей-старшеклассников наблюдается несовершенство нейродинамических механизмов, ответственных за реализацию внимания и организацию деятельности. Это может быть обусловлено как индивидуальными особенностями юношей, в том числе и индивидуальными темпами завершения полового созревания, так и напряженной учебной деятельностью. У юношей, занимающихся по более сложным программам, например у школьников специализированных математических классов, напряженность функционирования ЦНС выражена сильнее, чем у школьников, занимающихся по более легким программам.

Даже на этапе развития, когда функционирование ЦНС практически достигает зрелого уровня, необходимо учитывать как возрастные, так и индивидуальные функциональные возможности человека, определяющие адаптацию к умственным и физическим нагрузкам.

Вопросы и задания

1. Чем определяются особенности функционирования физиологических систем и целостного организма в подростковом возрасте?
2. Кратко охарактеризуйте специфику физического развития и физиологических систем, обеспечивающих обменные процессы на разных стадиях полового созревания.
3. Какие нейрофизиологические механизмы определяют особенности познавательной деятельности и поведения подростка?
4. С чем связана нормализация в деятельности физиологических систем на заключительном этапе полового созревания?

Глава 23. СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Основным условием благоприятного развития ребенка является четкое соответствие уровня развития физиологических систем и факторов внешней среды. К числу последних относятся социальные факторы.

Воспитательные и обучающие воздействия взрослых определяют развитие организма и личности ребенка, его познавательную деятельность и эмоционально-потребностную сферу. Присутствие матери имеет огромное значение для ребенка с момента рождения. Важно все — ощущение тела матери, ее тепла, звук ее голоса, биение сердца, запах; на основе этого формируется чувство ранней привязанности. Развитие ребенка в младенческом возрасте, начиная с периода новорожденности, во многом определяется созреванием сенсорных систем, обеспечивающих контакты ребенка и его взаимодействие с внешним миром. Недостаточность сенсорных контактов, интенсивно формирующихся в младенческом возрасте, приводит не только к недоразвитию сенсорных процессов, но и к нарушению нервно-психического статуса ребенка. Хорошо известен «синдром госпитализма», наблюдаемый у младенцев, лишенных общения с родителями, и прежде всего с матерью. В психологических исследованиях показано, что взаимодействие ребенка с матерью на 1-м году жизни осуществляется в двух формах. В первом полугодии это ситуативно-личностное общение, а со второго полугодия в течение всего раннего возраста — ситуативно-деловое. При ситуативно-личностном общении взаимоотношения взрослого с ребенком определяются его индивидуальной эмоциональностью. Тесное эмоциональное взаимодействие матери и ребенка обеспечивает формирование положительных эмоций. Уже в первом полугодии большое значение имеет появление так называемого комплекса оживления, который проявляется в виде быстрых движений, учащения дыхания, гуления, улыбки.

В контексте материнско-детских отношений большую роль играет эмоциональная сфера. Комплекс оживления возникает раньше и сильнее выражен в ответ на живые лица (прежде всего, лицо матери), чем на предметы. Его наличие стимулирует развитие ребенка. Отдельные детали лицевого изображения сначала заменяют собой образ, но довольно скоро, на 4—5-м месяце, начинают выделяться его наиболее типичные черты, дифференцируется выражение. Формируется инвариантность восприятия лица: ребенок воспринимает недовольное, радостное, с измененной прической лицо матери именно как ее лицо. Такая стабилизация восприятия создает ощущение защиты и комфорта. Окружающие люди начинают дифференцироваться по степени знакомства, а незнакомые лица могут вызывать неприятие, страх, иногда агрессию.

Преобладание позитивной или негативной реактивности младенцев первых месяцев жизни имеет важное прогностическое значение для дальнейшего развития. Свойственная некоторым младенцам негативная реактивность (раздражительность, выраженная хаотическая двигательная активность, сопротивляемость ус-

покою, сильный крик, задержка гуления) приводит к преобладанию отрицательной эмоциональной реактивности в 9 мес и соответственно к трудностям первичного сосредоточения, что отрицательно сказывается на развитии, поведении и психике ребенка. В то же время степень выраженности комплекса оживления положительно коррелирует со способностью к вниманию и сосредоточению в 2—3 года. В этом же возрасте возникают трудности социализации при задержке появления положительных эмоций. Отсутствие взаимодействия ребенка со взрослым, невостребованность комплекса оживления (дети-сироты в домах ребенка) приводит к его угасанию, что может исказить нормальное развитие (синдром госпитализма).

Взрослый знакомит ребенка с предметами окружающего мира, и это является основой ситуативно-делового общения. На основе комплексной сенсорной интеграции — зрительно-слухового и тактильного ознакомления с предметом — в сознании ребенка формируется его целостный образ (исходный компонент познавательной деятельности, в том числе и развития речи).

Существенным в интеллектуальном развитии ребенка является взаимодействие сенсорной функции и моторики ребенка.

Особую роль играет развитие тонких движений рук, стимулирующих не только предметно-действенную функцию, но и развитие речи. В младенческом и раннем детском возрасте реализуются две важнейшие речевые функции: номинативная, на основе которой формируются вербальные символы предметов, и коммуникативная. Для развития этих функций необходимо взаимодействие ребенка со взрослыми. Под влиянием взрослого формируются основные этапы коммуникативного взаимодействия.

В 3—4 мес, общаясь со взрослыми, ребенок учится улыбаться, поворачивать голову на звук человеческого голоса. В 6 мес ребенок, подражая взрослому, начинает издавать звуки, напоминающие речь окружающих, содержащие элементы данной языковой среды — гуление переходит в жест. В 8 мес ребенок активно реагирует на речь взрослого и повторяет отдельные слоги. В 12 мес ребенок понимает речь взрослого, создаются условия регуляции его поведения.

Социальные условия развития детей дошкольного возраста

Взаимодействие со взрослым сохраняет свое значение на протяжении всего дошкольного возраста. Основным видом деятельности дошкольника является игра. На ее основе формируется потребность в познавательной деятельности, развиваются сенсорные и моторные функции, речь и ее регулирующая и контролирующая функции. Уже с 3—4 лет игра должна быть не только пассив-

ной, задаваемой инструкцией взрослого, но и активной, формирующей собственную программу деятельности, поддерживающей инициативу ребенка и способствующей возникновению элементов произвольности. В такой игре непроизвольное внимание и непроизвольное запоминание начинают приобретать произвольный характер.

Особое значение для развития дошкольника имеет изобразительная деятельность, способствующая развитию сенсорных и моторных функций. Рисование, конструирование, лепка позволяют ребенку активно осваивать новые сенсорные свойства предметов, такие как цвет, форма, зрительно-пространственные соотношения. В процессе таких занятий развиваются сложнокоординированные движения рук, зрительно-моторные координации. Особенности развития эмоциональной сферы дошкольника таковы, что для него большое значение имеет положительная реакция взрослых на активность ребенка в процессе игровой деятельности. Интеллектуальное развитие дошкольника 3—4 лет неразрывно связано с его игровой деятельностью.

На следующей ступени развития ребенка начинают выделяться новые познавательные задачи и соответственно формируются специальные интеллектуальные действия, направленные на их решение. Характерным выражением нового направления детской активности являются бесконечные «почему» дошкольника.

Развитие мышления тесно связано с развитием других познавательных процессов. Характеризуя общий ход интеллектуального развития ребенка, известный российский физиолог И. М. Сеченов писал: «...Корни мысли у ребенка лежат в чувствовании. Это вытекает уже из того, что все умственные интересы раннего детства сосредоточены исключительно на предметах внешнего мира, а последние познаются преимущественно при посредстве органов зрения, осязания и слуха». И. М. Сеченов показал, как на основе элементарных сенсорных процессов возникают сложные пространственные представления, как формируются понимание причинной зависимости, абстрактные понятия. Именно И. М. Сеченов выделил значение предметной деятельности ребенка для формирования его мышления.

Прогрессивному развитию функций ребенка в дошкольном возрасте способствуют специально организованные занятия, включающие элементы подготовки к письму, чтению, математике. Форма этих занятий должна быть игровой. Занятия должны отличаться новизной и привлекательностью и создавать положительный эмоциональный настрой. Это имеет особенно важное значение, так как именно эмоциональная память наиболее устойчива и эффективна в этом возрасте.

Занятия с ребенком — это не обучение его письму, чтению, математике, а комплексная система индивидуального развития. Для

разработки такой системы необходимо знать уровень психофизиологического развития ребенка. Важно помнить тезис Л. С. Выготского о том, что «только то обучение в детском возрасте хорошо, которое забегает вперед развития и ведет развитие за собой. *Но обучать ребенка возможно только тому, чему он уже способен обучаться*».

Развитие ребенка-дошкольника определяется не только общением со взрослыми. У него возникает потребность общения со сверстниками и возрастает число контактов с ними. Контакты со сверстниками способствуют формированию осознания своего положения в их среде и формированию личности ребенка.

Биологическое и социальное развитие ребенка в дошкольном возрасте определяет его готовность к обучению в школе, от которой зависит успешность и эффективность адаптации. Готовность ребенка к систематическому обучению в школе (школьная зрелость) — это тот уровень морфофизиологического и психофизиологического развития, при котором требования систематического обучения не являются чрезмерными и не приводят к нарушению здоровья ребенка, физиологической и психологической дезадаптации, снижению успешности обучения.

Факторы, определяющие готовность детей к обучению в школе, следующие:

Зрительно-пространственное восприятие: дети способны различать пространственное расположение фигур, деталей в пространстве и на плоскости (над — под, на — за, перед — возле, сверху — внизу, справа — слева и т.п.); различать и выделять простые геометрические фигуры (круг, овал, квадрат, ромб и т.п.) и сочетания фигур; способны к классификации фигур по форме, величине; различают и выделяют буквы и цифры, написанные разным шрифтом; способны мысленно находить часть от целой фигуры, достраивать фигуры по схеме, конструировать фигуры (конструкции) из деталей.

Зрительно-моторные координации: дети могут срисовывать простые геометрические фигуры, пересекающиеся линии, буквы, цифры с соблюдением размеров, пропорций, соотношения штрихов.

Слухо-моторные координации: дети могут различать и воспроизводить несложный ритмический рисунок; способны выполнять под музыку ритмические (танцевальные) движения.

Развитие движений: дети уверенно владеют элементами техники всех бытовых движений; способны к самостоятельным, точным ловким движениям, производимым под музыку, в группе детей; осваивают и правильно реализуют сложнокоординированные действия при ходьбе на лыжах, катании на коньках, велосипеде и т.п.; выполняют сложнокоординированные гимнастические упражнения; осуществляют координированные движения пальцев, кисти, руки при выполнении бытовых действий, при

работе с конструктором, мозаикой, при вязании и т.п.; выполняют простые графические движения (вертикальные, горизонтальные линии, овалы, круги и т.п.); способны овладеть игрой на различных музыкальных инструментах.

Интеллектуальное развитие проявляется в способности к систематизации, классификации и группировке процессов, явлений, предметов, к анализу простых причинно-следственных связей; самостоятельном интересе к животным, к природным объектам и явлениям; познавательной мотивации. Дети наблюдательны, задают много вопросов; имеют элементарный запас сведений и знаний об окружающем мире, быте, жизни.

Развитие внимания. Возможно произвольное внимание, однако устойчивость его еще невелика (10—15 мин) и зависит от внешних условий и индивидуальных особенностей ребенка.

Развитие памяти и объема внимания: количество одновременно воспринимаемых объектов невелико (1—2); преобладает произвольная память, продуктивность произвольной памяти резко повышается при активном восприятии; возможно произвольное запоминание. Дети умеют принять и самостоятельно поставить мнемическую задачу и проконтролировать ее выполнение при запоминании как наглядного, так и словесного материала; значительно легче запоминают наглядные образы, чем словесные рассуждения; способны овладевать приемами логического запоминания (смысловое соотнесение и смысловая группировка). Однако не способны быстро и часто переключать внимание с одного объекта, вида деятельности и т.п. на другой.

Произвольная регуляция: возможность волевой регуляции поведения (на основе внутренних побуждений и установленных правил); способность проявлять настойчивость, преодолевать трудности.

Организация деятельности проявляется в способности воспринимать инструкцию и по инструкции выполнять задание, если поставлены цель и четкая задача действия; возможности планировать свою деятельность, а не действовать хаотично, методом проб и ошибок, однако алгоритм сложного последовательного действия самостоятельно выработать еще не способны; способности сосредоточенно, без отвлечений работать по инструкции 10—15 мин. Дети могут оценить в общем качество своей работы, но дифференцированную оценку качества по определенным критериям дать затрудняются; они способны самостоятельно исправить ошибки и корректировать работу по ходу дела.

Речевое развитие проявляется в правильном произношении всех звуков родного языка; способности к простейшему звуковому анализу слов; в хорошем словарном запасе (3,5—7 тыс. слов); грамматически правильном построении предложения; умении самостоятельно пересказать знакомую сказку или составить рассказ по картинкам; свободном общении со взрослыми и сверстниками (от-

вечают на вопросы, задают вопросы, умеют выражать свою мысль). Дети способны передавать интонацией различные чувства, речь их богата интонационно; они способны использовать все союзы и приставки, обобщающие слова, придаточные предложения.

Мотивы поведения: интерес к новым видам деятельности; к миру взрослых, стремление быть похожими на них; познавательные интересы; установление и сохранение положительных взаимоотношений со взрослыми и сверстниками; мотивы личных достижений, признания, самоутверждения.

Личностное развитие, самосознание и самооценка: дети способны осознавать свое положение в системе отношений со взрослыми и сверстниками; стремятся соответствовать требованиям взрослых, стремятся к достижениям в тех видах деятельности, которые они выполняют; их самооценка в разных видах деятельности может существенно отличаться; они не способны к адекватной самооценке, она в значительной степени зависит от оценки взрослых (педагога, воспитателя, родителей).

Социальное развитие: умение общаться со сверстниками и взрослыми, знание основных правил общения; хорошая ориентация не только в знакомой, но и в незнакомой обстановке; способность управлять своим поведением (дети знают границы дозволенного, но нередко экспериментируют, проверяя, нельзя ли расширить эти границы); стремление быть хорошими, первыми, сильное огорчение при неудаче; чуткое реагирование на изменение отношения, настроения взрослых.

Совокупность этих факторов — основное условие успешной адаптации к школе.

Адаптация к школе

Нормальные рост и развитие ребенка в школьном возрасте во многом определяются факторами внешней среды. Для ребенка 6—17 лет средой жизнедеятельности является школа, где дети проводят до 70 % времени бодрствования.

В процессе обучения ребенка в школе можно выделить два физиологически наиболее уязвимых (критических) периода — начало обучения (1-й класс) и период полового созревания (11 — 15 лет, 5—7-й класс).

В младшем школьном возрасте изменяются базовые механизмы организации всех физиологических и психофизиологических функций, растет напряжение адаптационных процессов. Важнейшим фактором перехода целостного организма на другой уровень функционирования является формирование в этом возрасте регуляторных систем мозга, восходящие влияния которых опосредуют избирательную системную организацию интегративной функции

мозга, а нисходящие регулируют деятельность всех органов и систем. Другим важным фактором, определяющим критический характер данного периода развития, является резкая смена социальных условий — начало обучения в школе.

Изменяется вся жизнь ребенка — появляются новые контакты, новые условия жизни, принципиально новый вид деятельности, новые требования и т.д. Напряженность этого периода определяется прежде всего тем, что школа с первых дней ставит перед учеником целый ряд задач, не связанных непосредственно с предшествующим опытом, требует максимальной мобилизации интеллектуальных, эмоциональных, физических резервов.

Высокое функциональное напряжение, которое испытывает организм первоклассника, определяется тем, что интеллектуальные и эмоциональные нагрузки сопровождаются длительным статическим напряжением, связанным с сохранением определенной позы при работе в классе. Причем статическая нагрузка для детей 6—7 лет наиболее утомительна, так как при удержании определенной позы, например, при письме, необходимо длительное напряжение спинных мышц, недостаточно развитых у детей этого возраста. Сам процесс письма (особенно безотрывного) сопровождается длительным статическим напряжением мышц руки (сгибателей и разгибателей пальцев).

Обычные виды деятельности школьника вызывают серьезное напряжение ряда физиологических систем. Например, при чтении вслух обмен веществ возрастает на 48 %, а ответ у доски, контрольные работы приводят к учащению пульса на 15—30 ударов в минуту, к увеличению систолического давления на 15—30 мм рт. ст., к изменению биохимических показателей крови и т. п.

Адаптация к школе — довольно длительный процесс, имеющий и физиологические, и психологические аспекты.

Первый этап — ориентировочный, когда на весь комплекс новых воздействий, связанных с началом систематического обучения, дети отвечают бурной реакцией и значительным напряжением практически всех систем организма. Эта «физиологическая буря» длится достаточно долго (2—3 нед).

Второй этап — неустойчивое приспособление, когда организм ищет и находит какие-то оптимальные (или близкие к оптимальным) варианты реакций на эти воздействия. На первом этапе ни о какой экономии ресурсов организма говорить не приходится: организм тратит все, что есть, а иногда и «в долг берет»; поэтому учителю так важно помнить, какую высокую «цену» платит организм каждого ребенка в этот период. На втором этапе эта «цена» снижается, «буря» начинает затихать.

Третий этап — период относительно устойчивого приспособления, когда организм находит наиболее подходящие (оптимальные) варианты реагирования на нагрузку, требующие меньшего

напряжения всех систем. Какую бы работу ни выполнял школьник, будь то умственная работа по усвоению новых знаний, статическая нагрузка, которую испытывает организм при вынужденной «сидячей» позе, или психологическая нагрузка общения в большом и разнородном коллективе, организм, вернее каждая из его систем, должен отреагировать своим напряжением, своей работой. Поэтому чем большее напряжение потребуется от каждой системы, тем больше ресурсов израсходует организм. Возможности детского организма далеко не безграничны, а длительное функциональное напряжение и связанные с ним утомление и переутомление могут привести к нарушению здоровья.

Продолжительность всех трех фаз адаптации приблизительно 5—6 нед, т.е. этот период продолжается до 10—15 октября, а наибольшие сложности возникают в 1—4-ю неделю.

Чем же характеризуются первые недели обучения? Прежде всего достаточно низким уровнем и неустойчивостью работоспособности, очень высоким уровнем напряжения сердечно-сосудистой системы, симпатoadреналовой системы, а также низким показателем координации (взаимодействия) различных систем организма между собой. По интенсивности и напряженности изменений, происходящих в организме ребенка в первые недели обучения, учебные занятия можно сравнить с влиянием на взрослого, хорошо тренированный организм экстремальных нагрузок. Например, изучение реакции организма первоклассников на уроках по показателям деятельности сердечно-сосудистой системы выявило, что напряжение этой системы ребенка можно сравнить с напряжением той же системы космонавта в состоянии невесомости. Этот пример убедительно показывает, насколько труден для ребенка процесс физиологической адаптации к школе. Между тем ни учителя, ни родители часто не осознают всей сложности этого процесса, а это незнание и форсирование нагрузки еще больше усложняют и без того столь непростой период. Несоответствие требований и возможностей ребенка ведет к неблагоприятным изменениям функционального состояния центральной нервной системы, к резкому снижению учебной активности и работоспособности. У значительной части школьников в конце учебных занятий отмечается резко выраженное утомление.

Только на 5—6-й неделе обучения постепенно повышаются и становятся более устойчивыми показатели работоспособности, снижается напряжение основных жизнеобеспечивающих систем организма (центральной нервной, сердечно-сосудистой, симпатoadреналовой), т.е. наступает относительно устойчивое приспособление ко всему комплексу нагрузок, связанных с обучением. Однако по некоторым показателям эта фаза (относительно устойчивого приспособления) затягивается до 9 нед, т.е. длится более 2 мес. И хотя считается, что период острой физиологической адаптации орга-

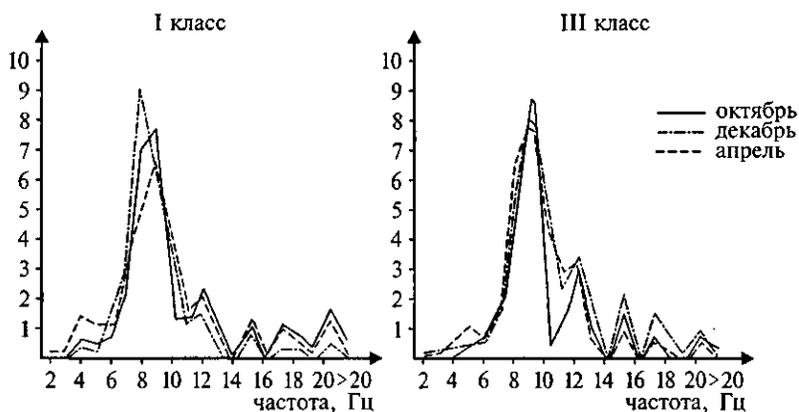


Рис. 82. Динамика частотного спектра ЭЭГ детей 7–8 лет (I класс) в течение учебного года. Отмечается стабилизация параметров альфа-ритма к 9–10-летнему возрасту (3-й класс)

низма к учебной нагрузке заканчивается на 5–6-й неделе обучения, весь первый год учебы (если сравнить его со следующими периодами обучения) можно считать периодом неустойчивой и напряженной регуляции всех систем организма ребенка.

Об этом свидетельствует нестабильность функциональной организации мозга в течение 1-го года обучения, особенно значительная к концу 2-й четверти. ЭЭГ учеников 1-го класса в декабре характеризуется снижением частоты альфа-ритма, увеличением медленных колебаний (рис. 82).

Успешность процесса адаптации во многом определяется состоянием здоровья ребенка. В зависимости от состояния здоровья адаптация к школе, к изменившимся условиям жизни может протекать по-разному. Выделяются группы детей с легкой адаптацией, адаптацией средней тяжести и тяжелой.

При легкой адаптации напряженность функциональных систем организма ребенка снижается в течение 1-й четверти. При адаптации средней тяжести нарушения самочувствия и здоровья более выражены и могут наблюдаться в течение первого полугодия. У части детей адаптация к школе проходит тяжело. Уже к концу 1-й четверти у них отмечаются нарушения психического здоровья, которые проявляются в виде различных страхов, нарушений сна, аппетита, чрезмерной возбудимости, или, наоборот, вялости, заторможенности. Возможны жалобы на усталость, головные боли, обострение хронических заболеваний и т.п. Значительные нарушения в состоянии здоровья нарастают от начала к концу учебного года.

Напряжение всех функциональных систем организма ребенка, связанное с изменением привычного образа жизни, в наиболь-

шей степени проявляется в течение первых 2 мес обучения. Почти у всех детей в начале школьных занятий наблюдаются двигательное возбуждение или заторможенность, жалобы на головные боли, плохой сон, снижение аппетита. Эти отрицательные реакции бывают тем более выражены, чем резче переход от одного периода жизни к другому, чем меньше готов к этому организм вчерашнего дошкольника. Большое значение имеют такие факторы, как особенности жизни ребенка в семье (насколько резко отличается привычный для него домашний режим от школьного). Безусловно, дети, посещавшие детский сад, значительно легче адаптируются к школе, чем «домашние», непривычные к длительному пребыванию в детском коллективе и режиму дошкольного учреждения. Одним из основных критериев, характеризующих успешность адаптации к систематическому обучению, являются состояние здоровья ребенка и изменения его показателей под влиянием учебной нагрузки. Легкую адаптацию и в определенной степени адаптацию средней тяжести можно, по-видимому, считать закономерной реакцией организма детей на изменившиеся условия жизни. Тяжелое же протекание адаптации свидетельствует о непереносимости учебных нагрузок и режима обучения для организма первоклассника. В свою очередь, выраженность и длительность самого процесса адаптации зависят от состояния здоровья ребенка к началу систематического обучения.

Легче переносят период поступления в школу и лучше справляются с умственной и физической нагрузкой здоровые дети, с нормальным функционированием всех систем организма и гармоничным физическим развитием. Критериями благополучной адаптации детей к школе могут служить улучшение динамики работоспособности на протяжении первых месяцев обучения, отсутствие выраженных неблагоприятных изменений показателей состояния здоровья и хорошее усвоение программного материала.

У каких детей труднее всего протекает адаптация? Тяжелее всех адаптируются дети, родившиеся при патологии беременности и родов, дети, перенесшие черепно-мозговые травмы, часто болеющие, страдающие различными хроническими заболеваниями и особенно имеющие расстройства нервно-психической сферы.

Общая ослабленность ребенка, любое заболевание, как острое, так и хроническое, задержка функционального созревания, негативно влияя на состояние центральной нервной системы, служат причиной более тяжелого протекания адаптации и обуславливают снижение работоспособности, высокую утомляемость, ухудшение здоровья и снижение успешности обучения.

Одна из основных задач, которые ставит перед ребенком школа, — это необходимость усвоения им определенной суммы знаний, умений и навыков. И несмотря на то что общая готовность учиться (желание учиться) практически одинакова у всех детей,

реальная готовность к обучению очень различна. Поэтому у ребенка с недостаточным уровнем интеллектуального развития, с плохой памятью, с низким развитием произвольного внимания, воли и других качеств, необходимых при обучении, будут самые большие трудности в процессе адаптации. Сложность в том, что начало обучения меняет основной вид деятельности ребенка-дошкольника (им является игра), но и новый вид деятельности — учебная деятельность — возникает не сразу. Учение в школе нельзя отождествлять с учебной деятельностью. «Дети, как известно, учатся в самых различных видах деятельности — в игре, в труде, при занятиях спортом и т.д. Учебная же деятельность имеет свое содержание и строение, и ее необходимо отличать от других видов деятельности, выполняемых детьми как в младшем школьном, так и в других возрастах (например, от игровой, общественно-организационной, трудовой деятельности). Причем в младшем школьном возрасте дети выполняют все только что перечисленные виды деятельности, но ведущей и главной среди них является учебная. Она детерминирует возникновение основных психологических новообразований данного возраста, определяет общее психическое развитие младших школьников, формирование их личности в целом». Мы привели эту цитату из работы известного отечественного психолога В.В.Давыдова потому, что именно он показал и обосновал отличие учебы и учебной деятельности.

Начало обучения в школе позволяет ребенку занять новую жизненную позицию и перейти к выполнению общественно значимой учебной деятельности. Но в самом начале обучения у первоклассников еще нет потребности в теоретических знаниях, а именно эта потребность является психологической основой формирования учебной деятельности.

На первых этапах адаптации мотивы, связанные с познаванием, учением, имеют незначительный вес, а познавательная мотивация учения и воля еще недостаточно развиты, они постепенно формируются в процессе самой учебной деятельности. Ценность учения ради знания, потребность постижения нового не ради получения хорошей оценки или избежания наказания (к сожалению, на практике чаще всего формируются именно эти стимулы) — вот что должно быть основой учебной деятельности. «Эта потребность возникает у ребенка в процессе реального усвоения им элементарных теоретических знаний при совместном с учителем выполнении простейших учебных действий, направленных на решение соответствующих учебных задач», — считает В. В.Давыдов. Он убедительно доказал, что учебная деятельность «содержит в своем единстве много аспектов, в том числе социальный, логический, педагогический, психологический, физиологический и др.», а значит, и механизмы адаптации ребенка к школе столь же различны. Конечно, мы не можем разобрать все из них, поэтому бо-

лее подробно рассмотрим физиологическую и психологическую адаптацию ребенка.

Как правило, индикатором трудности процесса адаптации к школе являются изменения в поведении детей. Это может быть чрезмерное возбуждение и даже агрессивность, а может быть, наоборот, заторможенность, депрессия. Может возникнуть (особенно при неблагоприятных ситуациях) и чувство страха, нежелание идти в школу. Все изменения в поведении ребенка, как правило, отражают особенности психологической адаптации к школе.

Основными показателями адаптации ребенка к школе являются формирование адекватного поведения, установление контактов с учащимися, учителем, овладение навыками учебной деятельности. Именно поэтому при проведении специальных социально-психологических исследований адаптации детей к школе изучался характер поведения ребенка, особенности его контактов со сверстниками и взрослыми и формирование навыков учебной деятельности.

Наблюдения за первоклассниками показали, что социально-психологическая адаптация детей к школе может проходить по-разному.

Первая группа детей (56 %) адаптируется к школе в течение первых 2 мес обучения, т.е. примерно за тот же период, когда проходит и наиболее острая физиологическая адаптация. Эти дети относительно быстро вливаются в коллектив, осваиваются в школе, приобретают новых друзей в классе; у них почти всегда хорошее настроение, они спокойны, доброжелательны, добросовестно и без видимого напряжения выполняют все требования учителя. Иногда у них отмечаются сложности либо в контактах с детьми, либо в отношениях с учителем, так как им еще трудно выполнять все требования правил поведения; хочется побегать на перемене или поговорить с товарищем, не дожидаясь звонка, и т.п. Но к концу октября эти трудности, как правило, нивелируются, отношения нормализуются, ребенок полностью осваивается и с новым статусом ученика, и с новыми требованиями, и с новым режимом — он становится учеником.

Вторая группа детей (30 %) имеет длительный период адаптации, период несоответствия их поведения требованиям школы затягивается: дети не могут принять ситуацию обучения, общения с учителем, детьми — они могут играть на уроках или выяснять отношения с товарищем, они не реагируют на замечания учителя или реагируют слезами, обидами. Как правило, эти дети испытывают трудности и в усвоении учебной программы. Лишь к концу первого полугодия реакции этих детей становятся адекватными требованиям школы, учителя.

Третья группа (14 %) — дети, у которых социально-психологическая адаптация связана со значительными трудностями; кроме

того, они не усваивают учебную программу, у них отмечаются негативные формы поведения, резко проявляются отрицательные эмоции. Именно на таких детей чаще всего жалуются учителя, дети, родители: они «мешают работать в классе», «третируют детей».

Необходимо обратить особое внимание на то, что за одинаковым внешним проявлением негативных форм поведения, или, как обычно говорится, плохим поведением ребенка, могут скрываться самые разные причины. Среди этих детей могут быть те, кто нуждается в специальном лечении, могут быть ученики с нарушениями психоневрологической сферы, но это могут быть и дети, не готовые к обучению, например, выросшие в неблагоприятных семейных условиях. Постоянные неуспехи в учебе, отсутствие контакта с учителем создают отчуждение и отрицательное отношение сверстников. Дети становятся «отверженными». Но это рождает реакцию протеста: они «задираются» на переменах, кричат, плохо ведут себя на уроке, стараясь хотя бы таким образом выделиться. Если вовремя не разобраться в причинах плохого поведения, не скорректировать затруднения адаптации, то все вместе может привести к срыву, дальнейшей задержке психического развития и неблагоприятно отразиться на состоянии здоровья ребенка, т. е. стойкое нарушение эмоционального состояния может перейти в нервно-психическую патологию.

Наконец, это могут быть просто «перегруженные» дети, не справляющиеся с дополнительными нагрузками. Так или иначе плохое поведение — сигнал тревоги, повод внимательнее посмотреть на ученика и вместе с родителями разобраться в причинах трудностей адаптации к школе.

Какие же факторы, влияющие на успешность адаптации, мало зависят от учителя, а какие — полностью в его руках?

Успешность и безболезненность адаптации ребенка к школе связаны в первую очередь с его готовностью к началу систематического обучения. Организм должен быть функционально готов (т.е. развитие отдельных органов и систем должно достичь такого уровня, чтобы адекватно реагировать на воздействия внешней среды). В противном случае процесс адаптации затягивается, идет с большим напряжением. И это естественно, так как дети, функционально не готовые к обучению, имеют более низкий уровень умственной работоспособности. У трети «неготовых» детей уже в начале года отмечается сильное напряжение деятельности сердечно-сосудистой системы в процессе занятий, потеря массы тела; они часто болеют и пропускают уроки, а значит, еще больше отстают от сверстников.

Следует специально остановиться на таком факторе, влияющем на успешность адаптации, как возраст начала систематического обучения. Не случайно продолжительность периода адаптации у шестилеток в основном больше, чем у семилеток. У шести-

летних детей наблюдаются более высокое напряжение всех систем организма, более низкая и неустойчивая работоспособность.

Год, отделяющий шестилетнего ребенка от семилетнего, очень важен для его физического, функционального (психофизиологического) и психического развития, поэтому многие исследователи считают, что оптимальный возраст поступления в школу — не 6 (до 1 сентября), а 6,5 лет. Именно за этот период (от 6 до 7 лет) формируются многие важные психологические новообразования: интенсивно развиваются регуляция поведения, ориентация на социальные нормы и требования, закладываются основы логического мышления, формируется внутренний план действий.

Следует учитывать расхождение биологического и паспортного возраста, которое может составлять в этом возрасте 0,5—1,5 года.

Длительность и успешность процесса адаптации к школе, дальнейшего обучения во многом определяются состоянием здоровья детей. Легче всего адаптация к школе протекает у здоровых детей, имеющих I группу здоровья, а тяжелее всего у детей, имеющих III группу (хронические заболевания в компенсированном состоянии).

Есть факторы, существенно облегчающие адаптацию к школе всех детей, особенно «неготовых» и ослабленных, — факторы, которые во многом зависят от учителя и родителей. Наиболее важный из них — рациональная организация учебных занятий и рациональный режим дня.

Одним из главных условий, без чего невозможно сохранить здоровье детей в течение учебного года, является соответствие режима учебных занятий, методов преподавания, содержания и насыщенности учебных программ, условий внешней среды возрастным функциональным возможностям первоклассников.

Обеспечение соответствия двух факторов — внутреннего морфофункционального и внешнего социально-педагогического — является необходимым условием благоприятного преодоления этого критического периода.

ЛИТЕРАТУРА

- Анохин П. К.* Биология и нейрофизиология условного рефлекса. — М., 1968.
- Анохин П. К.* Очерки по физиологии функциональных систем. — М., 1975.
- Аршавский И. А.* Основы возрастной периодизации // Возрастная физиология. — Л., 1975.
- Бернштейн Н.А.* Очерки по физиологии движения и физиологии активности. — М., 1966.
- Бетелева Т. Г.* Нейрофизиологические механизмы зрительного восприятия. — М., 1983.
- Возрастная физиология: Руководство по физиологии. — Л., 1975.
- Выготский Л. С.* Проблема возраста // Собрание сочинений. — М., 1984.
- Дубровинская Н. В., Фарбер Д.А., Безруких М. М.* Психофизиология ребенка. — М., 2000.
- Дубровинская Н. В.* Нейрофизиологические механизмы внимания. — Л., 1985.
- Козлов В. И., Фарбер Д.А.* Основные теоретические предпосылки изучения физиологии развития ребенка // Биологический возраст и возрастная периодизация. — М., 1977.
- Корниенко И. А.* Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции. — М., 1979.
- Лурия А.Р.* Естественно-научные основы психологии. — М., 1978.
- Маркосян А.А., Ломазова Х.Д.* Возрастные особенности системы крови // Руководство по физиологии: Возрастная физиология. — Л., 1975.
- Маркосян А.А.* Развитие человека и надежность биологической системы // Основы морфологии и физиологии организма детей и подростков. — М., 1969.
- Сельверова Н. Б.* Физиология развития нейроэндокринной системы // Физиология роста и развития детей и подростков: (Теоретические и клинические вопросы) / Под ред. А.А.Баранова, Л.А.Щеплягиной. — М., 2000.
- Ухтомский А.А.* Очерк физиологии нервной системы // Собрание сочинений. — М.; Л., 1954.
- Фарбер Д. А.* Закономерности морфофункционального созревания мозга ребенка // Совершенствование преподавания возрастной физиологии и школьной гигиены в педвузе. — Новосибирск, 1986.
- Фарбер Д.А.* Принципы системной структурно-функциональной организации мозга и основные этапы ее формирования // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. — Л., 1990.
- Фарбер Д.А., Корниенко И. А., Сонькин В. Д.* Физиология школьника. — М., 1990.
- Физиология подростка / Под ред. Д.А. Фарбер. — М., 1989.
- Физиология развития ребенка: (Теоретические и прикладные аспекты) / Под ред. М. М. Безруких, Д.А. Фарбер. — М., 2000.
- Харрисон Дж., Уайнер Дж., Таннер Дж., Барникот Н.* Биология человека. — М., 1968, 1976.
- Хрипкова А. Г., Антропова М. Б., Фарбер Д. А.* Возрастная физиология и школьная гигиена: Учебное пособие для педагогических институтов. — М., 1990.
- Шмидт -Нильссен К.* Размеры животных: почему они так важны? — М., 1987.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
------------------	---

Раздел I. Введение в возрастную физиологию

Глава 1. Предмет возрастной физиологии (физиологии развития).....	6
Глава 2. Теоретические основы возрастной физиологии (физиологии развития).....	18
Глава 3. Общий план строения организма.....	29

Раздел II. Организм и среда

Глава 4. Рост и развитие.....	41
Глава 5. Организм и среда его обитания.....	72
Глава 6. Внутренняя среда организма.....	88
Глава 7. Обмен веществ (метаболизм).....	103
Глава 8. Система кислородного обеспечения организма.....	142
Глава 9. Физиология деятельности и адаптации.....	174
Глава 10. Мышечная деятельность и физические возможности ребенка.....	198

Раздел III. Организм как целое

Глава 11. Нервная система: значение и структурно-функциональная организация.....	215
Глава 12. Строение, развитие и функциональное значение различных отделов центральной нервной системы.....	220
Глава 13. Регуляция функционального состояния мозга.....	237
Глава 14. Интегративная деятельность мозга.....	243
Глава 15. Центральные механизмы регуляции движений.....	268
Глава 16. Вегетативная нервная система и регуляция внутренней среды организма.....	283
Глава 17. Гуморальная регуляция функций организма.....	287

Раздел IV. Этапы развития ребенка

Глава 18. Младенчество (от 0 до 1 года).....	323
Глава 19. Ранний возраст (от 1 года до 3 лет).....	343
Глава 20. Дошкольный возраст (от 3 до 6—7 лет).....	351
Глава 21. Младший школьный возраст (с 7 до 11—12 лет).....	367
Глава 22. Подростковый и юношеский возраст.....	382
Глава 23. Социальные факторы развития на разных этапах онтогенеза.....	399
Литература.....	414

Учебное издание

**Безруких Марьяна Михайловна,
Сонькин Валентин Дмитриевич,
Фарбер Дебора Ароновна**

**Возрастная физиология
(Физиология развития ребенка)**

Учебное пособие

Редактор *Л. Л. Случевская*
Ответственный редактор *Д. В. Шербаков*
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*
Компьютерная верстка: *Г. Ю. Никитина*
Корректоры *А. В. Шипаева, Н. В. Козлова*

Качество печати соответствует качеству
предоставленных издательством диапозитивов.

Изд. № А-332-1/2. Подписано в печать 16.05.2003. Формат 60×90/16.
Бумага тип. № 2. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,0.
Тираж 30000 экз. (2-й завод 10001 -20000 экз.). Заказ № 2958.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.002682.05.01 от 18.05.2001.
117342, Москва, ул. Бултерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095)330-1092, 334-8337.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.