

Министерство образования и науки РФ
ГОУ ВПО «Ярославский государственный педагогический университет
им. К.Д. Ушинского»

В.В. Афанасьев, А.В. Муравьев, И.А. Осетров, П.В. Михайлов

Спортивная метрология

Учебное пособие

Ярославль

2009

УДК 519.22; 796:311
ББК 75 в 631.8+22.172
А 94

Печатается по решению
редакционно-издательского
совета ЯГПУ им. К.Д. Ушинского

Рецензенты:

доктор педагогических наук, профессор М.Н. Жуков
доктор физико-математических наук, профессор ЯФ РОАТ
В.А. Коромыслов

Афанасьев В.В., Муравьев А.В., Осетров И.А., Михайлов П.В.
А 94 Спортивная метрология [Текст] : учебное пособие / под ред. В.В. Афанасьева / В.В. Афанасьев, А.В. Муравьев, И.А. Осетров, П.В. Михайлов. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2009. – 242 с.

В учебном пособии изложены метрологические основы современной теории педагогического контроля в физическом воспитании и спорте, математико-статистические методы и их применение для обработки и анализа результатов контроля и планирования учебно-тренировочного процесса.

Книга предназначена для студентов, преподавателей, организаторов и менеджеров спорта.

УДК 519.22; 796:311
ББК 75 в 631.8+22.172

ISBN 978-5-87555-528-X

© ГОУ ВПО «Ярославский
государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского», 2009
© Коллектив авторов, 2009

Содержание

Введение	6
Глава I. Наука об измерениях в спорте	8
§1. Предмет спортивной метрологии.....	8
§2. Становление спортивной метрологии.....	10
Глава II. Общие основы метрологии	13
§3. Особенности измерений в физической культуре и спорте ...	15
§4. Шкалы измерений	17
§5. Физические величины как объект измерений.....	18
§6. Средства измерений.....	22
6.1. Поверка средств измерений	25
6.2. Калибровка.....	28
6.3. Методы и схемы поверки	29
6.4. Стандартные справочные данные.....	31
§7. Эталоны, их классификация и виды.....	33
§8. Технические средства контроля эффективности обучения и тренировки.....	36
8.1 Состав измерительной системы.....	37
8.2 Монитор сердечного ритма	39
8.3 Велоэргометры.....	42
8.4 Беговые дорожки(тредбаны)	45
§9. Методы регистрации характеристик в спортивной метрологии	46
9.1. Оптические методы	47
9.2. Электромеханические методы	49
9.3. Радиоэлектронные способы передачи информации....	50
§10. Метрологический контроль технической подготовленности спортсменов.....	51
Глава III. Математическое обеспечение метрологического контроля	61
§11. Первичная обработка спортивных показателей	61
§12. Генеральные параметры и их выборочные оценки.....	64
12.1. Характеристики положения.....	65
12.2. Показатели рассеивания	71
12.3. Показатели формы распределения	73
§13. Нормальное распределение в спорте	77
§14. Метод доверительных интервалов	80
Глава IV. Статистические гипотезы	83

§15. Статистические гипотезы и их проверка.....	83
§16. Параметрические критерии согласия.....	84
16.1 t-критерий Стьюдента.....	84
16.2 Критерий Крамера-Уэлча.....	88
§17. Непараметрические критерии в спорте.....	89
17.1. Критерий согласия Пирсона.....	89
17.2. Критерий Романовского.....	92
17.3. Критерий χ^2 Фридмана.....	93
17.4. Критерий Манна-Уитни.....	96
17.5. Критерий Вилкоксона.....	99
17.6. Критерий Шапиро-Уилка.....	102
Глава V. Корреляционный анализ.....	104
§18. Корреляционная зависимость.....	104
§19. Ранговая корреляция.....	107
§20. Частная и множественная линейная корреляция.....	114
§21. Корреляционное отношение и эффективность тренировочного процесса.....	118
§22. Компьютерные технологии в статистическом анализе спортивных достижений.....	120
Глава VI. Тестирование общей физической подготовленности.....	125
§23. Надежность теста.....	129
§24. Точность измерений.....	136
§25. Информативность теста.....	138
Глава VII. Интегральная оценка спортивных результатов и тестов.....	145
§26. Равномерные шкалы.....	147
§27. Стандартные шкалы.....	153
§28. Равновероятностные шкалы.....	155
Глава VIII. Метрологические основы контроля физической подготовленности спортсменов.....	161
§29. Контроль скоростных качеств.....	163
29.1. Формы проявления.....	163
29.2. Информативность и надежность.....	170
§30. Контроль силовых качеств.....	173
30.1. Способы измерения силы.....	175
30.2. Добротность силовых тестов.....	178
§31. Контроль уровня развития гибкости.....	183
§32. Контроль уровня развития выносливости.....	185

Глава IX. Методы контроля функциональной подготовленности в физической культуре и спорте	192
§33. Обследования в покое и при нагрузочном тестировании....	193
Глава X. Классификация свойств и показателей спортивной подготовленности	199
§34. Показатели спортивной подготовленности.....	200
§35. Психолого-педагогические спортивные показатели.....	202
§36. Показатели спортивной надежности.....	209
§37. Показатели личности спортсмена	211
§38. Критерии оценки спортивной подготовленности	212
§39. Показатели стандартизации и унификации.....	214
§40. Метрологические показатели	220
Глава XI. Метрологические аспекты организации исследований в спорте	223
§41. Методология исследований	223
§42. Сравнительные исследования.....	226
§43. Контроль наследственных влияний в спортивном отборе и прогнозе	230
Приложение.....	232
Список рекомендованной литературы	240

Введение

Особенностью спортивной метрологии является то, что в ней термин «измерение» трактуется в самом широком смысле слова, так как в спортивно-педагогической практике недостаточно измерить только физические величины, а приходится оценивать техническое мастерство, эстетическую выразительность, артистизм спортсмена-исполнителя и другие нефизические характеристики и величины.

В учебном пособии изложены метрологические основы современной теории педагогического контроля в физическом воспитании и спорте, математико-статистические методы и их применение для обработки и анализа результатов контроля и планирования учебно-тренировочного процесса на основе стандартных и специально адаптированных компьютерных программ. Дана характеристика современным компьютерным и цифровым технологиям и методическим приемам регистрации, обработки и анализа показателей физического состояния спортсменов, их технико-тактического мастерства, тренировочных нагрузок, представлены метрологические аспекты прогнозирования и моделирования в физическом воспитании и спорте.

В настоящее время спортивная метрология развивается как научная и как учебная дисциплина. Последняя находит свое полное отражение в содержании настоящего учебного пособия, в которое включены материалы, освещающие:

- метрологические основы теории и практики измерений в физической культуре и спорте;
- математико-статистические методы и их применение для обработки и анализа результатов различных форм контроля подготовки спортсменов, отбора наиболее одаренных и прогноза развития и совершенствования их моторики;
- современные технические средства измерения и контроля в спорте, в том числе компьютерные цифровые технологии, приборы с использованием лазерных методов;
- технологии и методические приемы регистрации, обработки и анализа показателей физического и функционального

состояния организма спортсменов, технико-тактического мастерства и тренировочных нагрузок.

Учебное пособие состоит из четырех блоков. В первом разделе изложены основы теории измерений, история общей метрологии, измерительные системы и их использование в физическом воспитании и спорте, а также тестирование физической и функциональной подготовленности лиц, занимающихся физической культурой и спортом.

Во втором разделе описаны современные технические средства и технологии, применение которых даст возможность получать достоверные результаты о состоянии организма и тренированности спортсменов и лиц, занимающихся оздоровительными программами физических упражнений. Содержание этого раздела учебного пособия направлено на то, чтобы научить студентов выбирать адекватную задачам метрологического контроля измерительную аппаратуру (для регистрации техники движений, уровня развития физических качеств, степени функциональной подготовленности) и научиться их приемам ее практического использования.

Третий раздел пособия включает вопросы практического использования метрологического контроля в практике спортивной и оздоровительной тренировки. Содержание этого раздела посвящено методам контроля физической, технической, тактической и функциональной подготовленности спортсменов.

Четвертый раздел включает математическую статистику, ее основные понятия и приложения к физической культуре и спорту. Освоение этого раздела в ходе теоретических и практических занятий позволит студентам научиться обрабатывать статистическими методами данные измерений двигательных характеристик, полученных в процессе тестирования, и на этой основе осуществлять эффективный контроль, отбор и прогноз спортивной подготовленности.

Структура и содержание учебного пособия по спортивной метрологии полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта по специальности 05720 «Физическая культура» и по специальности 0323 «Адаптивная физическая культура».

Глава I. Наука об измерениях в спорте

Контроль в физической культуре и спорте начинается с измерений, для этого нужно знать что измерять, как измерять и какие измеряемые показатели являются наиболее информативными. Кроме того, нужно знать и уметь пользоваться методами математической статистики для обработки полученных результатов измеренных величин. Изучаемыми величинами являются, как правило, варьирующие признаки. Например, у представителей одного вида спорта, квалификации, пола и возраста измеряются сила мышц, скорость движения, показатели систем дыхания и кровообращения и т. д. Таким образом, специалист в области физической культуры и спорта при помощи многократно проведённых измерений у одного и того же или у разных спортсменов может найти закономерности и важные связи при анализе адекватности тренировочных нагрузок и оценке состояния тренированности спортсмена.

Предметами спортивной метрологии как части общей метрологии являются измерения и контроль в спорте. Термин «измерение» в спортивной метрологии трактуется в самом широком смысле и понимается как установление соответствия между изучаемыми явлениями и числами. В современной теории и практике спорта измерения широко используются для решения самых разнообразных задач управления подготовкой спортсменов. Эти задачи касаются непосредственного изучения педагогических и биомеханических параметров спортивного мастерства, диагностики энергофункциональных параметров спортивной работоспособности, учета анатомо-морфологических параметров физиологического развития, контроля психических состояний.

§1. Предмет спортивной метрологии

Слово «метрология» в переводе с древнегреческого означает «наука об измерениях» (*метрон* - мера, *логос* - слово, наука). Основной задачей общей метрологии является обеспечение единства и точности измерений. Спортивная

метрология как научная дисциплина представляет собой часть общей метрологии. К ее основным задачам относятся:

1. Разработка новых средств и методов измерений.
2. Регистрация изменений состояния занимающихся под влиянием различных физических нагрузок.
3. Сбор массовых данных, формирование систем оценок и норм, проверка полученных результатов на достоверность при том или ином уровне значимости.
4. Обработка полученных результатов измерений с целью организации эффективного контроля и управления учебно-тренировочным процессом.
5. Прогноз спортивных результатов.

Однако как учебная дисциплина спортивная метрология выходит за рамки общей метрологии. Так, в физическом воспитании и спорте помимо обеспечения измерения *физических* величин, таких как длина, масса и т. д., подлежат измерению педагогические, психологические, медико-биологические и социальные показатели, которые по своему содержанию не относятся к чисто физическим. В общей метрологии нет методик их измерений, и поэтому были разработаны специальные приемы биометрии, результаты которых всесторонне характеризуют подготовленность лиц, занимающихся физической культурой и спортом.

Использование методов математической статистики в спортивной метрологии существенно отличает ее от общей метрологии. Математическая статистика дает возможность получить более точное представление об измеряемых объектах, сравнить их и оценить результаты и надежность измерений. В практике физического воспитания и спорта проводят измерения в процессе систематического контроля, в ходе которого регистрируются различные показатели соревновательной и тренировочной деятельности, а также состояние спортсменов. Такой контроль называют *комплексным*. Это дает возможность установить причинно-следственные связи между тренировочными нагрузками и результатами в соревнованиях, а после сопоставления и анализа вносить коррективы в программу и планы подготовки спортсменов.

Таким образом, предметом спортивной метрологии является комплексный контроль в физическом воспитании и

спорте и использование его результатов в прогнозировании и планировании подготовки спортсменов и лиц, занимающихся оздоровительной физической культурой. Систематический контроль спортсменов, их спортивной подготовленности и степени тренированности, позволяет определить меру стабильности характеристик спортивной формы и учитывать возможные отклонения от ее оптимального уровня.

§2. Становление спортивной метрологии

Традиционно метрология занималась измерением только физических величин. В последние десятилетия были созданы методы, позволяющие измерять разнообразные показатели нефизической природы (психологические, биологические, социологические, педагогические и др.). Однако среди метрологов нет единой точки зрения о границах своей науки. Мы придерживаемся распространенного толкования метрологии как науки о всех видах измерения.

Гениально высказался нобелевский лауреат Арчибальд Вивиан Хилл: «Наибольшее количество сконцентрированных физиологических данных содержится не в книгах по физиологии ..., а в мировых рекордах по бегу».

Первым заинтересовался «кривой рекордов» Кенелли [31], предложивший для ее описания гиперболическую функцию. Публикация Кенелли предопределила дальнейшее развитие работ в этой области. Созданная им интерполяционная формула для описания «кривой рекордов» оставалась неизменной долгое время. Для аппроксимации эмпирических данных использовался следующий прием. Имея три основные переменные – дистанцию, время и скорость, исследователь строил графики «дистанция – время», «дистанция – скорость», «скорость – время», откладывая на осях обычно не сами эмпирические данные, а их логарифмы. Под преобразованные таким образом данные подбирались интерполяционные формулы.

Во второй половине XX века были предприняты попытки перейти к содержательному математическому описанию «кривой рекордов» на основе некоторых модельных представлений о факторах, ограничивающих работоспособность при напряженных физических упражнениях. Первым предложил

Хенри (1954, 1955) использовать пятичленное экспоненциальное выражение. Он исходил из того, что в «кривой рекордов» должно находить отражение существование четырех различных источников энергии при мышечной деятельности: распад макроэнергетических фосфорных соединений, гликолиз, аэробное окисление углеводов и жиров. Пятый член предложенного Хенри выражения характеризует затраты энергии на начальное ускорение со старта. Предложенное им уравнение позволило с большой точностью предсказать достижения в широком диапазоне дистанций [8].

Сходный модельный подход использовали также Тарнер и Кемпбелл, предложившие «биометрическую теорию рекордов» в беге от 400 до 10000 м. Авторы исходили из того, что длительное передвижение с постоянной скоростью возможно лишь при так называемых субкритических скоростях, где O_2 – запрос меньше текущего потребления кислорода. При скорости выше критической энергетическое обеспечение деятельности во все большей степени начинает осуществляться за счет анаэробных реакций, что приводит к более быстрому истощению механизмов O_2 – долга. На этой основе авторы предложили для описания «кривой рекордов» формулу, где скорость передвижения рассматривалась как функция от мощности аэробных и анаэробных механизмов поставки энергии.

Наиболее полно и методически обоснованно современное состояние спортивной метрологии изложено В.М. Зациорским и М.А.Годином в учебниках «Спортивная метрология» для институтов физической культуры и в учебном пособии с тождественным названием С.В. Начинской [11, 15, 21]. В них изложены:

- основы измерений в физической культуре и спорте (измерение физических величин, единицы измерений и показателей в спортивной метрологии, средства измерений, шкалы, объекты измерений в спортивной метрологии, нормы, шкалы оценок);

- методы первичной обработки фактического измерения материала (метод средних величин – образование вариационных рядов, виды вариационных рядов и их графическое изображение, решение типовых задач методом средних величин; выборочный метод – основные понятия выборочного метода,

элементы теории вероятностей, нормальный закон распределения, соответствие нормальному закону, организация выборки, определение показателей генеральной совокупности, понятие о статистической достоверности, решение типовых задач ФКС на статистическую достоверность;

– корреляционный анализ – способы анализа силы взаимосвязи, виды корреляции, способы выражения корреляции, коэффициент корреляции Бравэ-Пирсона, ранговый коэффициент корреляции Спирмена, корреляционные отношения, множественная корреляция, решение типичных задач ФКС на корреляцию, графическое изображение статистических данных);

– принципы выявления тенденций и закономерностей в спорте (анализ и прогноз – использование анализа, прогноза и многомерных методов, ряды динамики (временные ряды)), метод индексов, дисперсионный анализ;

– квалиметрия, или методы количественной оценки качества показателей – атрибутивные понятия, анкетирование, латентный анализ, экспертизы, или метод экспертных оценок; контент-анализ-классификация, определение критерия классификации, факторный анализ, метод корреляционных плеяд, комбинаторный анализ;

– подходы к тестированию спортсменов (европейское и американское тестирование, общепринятые тесты, надежность и информативность тестов);

– принципы моделирования спортивных состязаний (принцип статистического перебора – шаг перебора и комплект моделей, модель «Тактика спринтерского бега», модель «Режимы прохождения дистанций в академической гребле»; принцип сравнения с эталоном – модель «Техника старта в велосипедном спорте»; принцип комбинаторных сочетаний – определение принципа комбинаторных сочетаний, модель «Атакующие действия в фехтовании», принцип эталонизации средств физического воздействия, связка статистических методов).

Кроме того, заслуживает отдельного внимания словарь-справочник по спортивной метрологии В.Б. Коренберга, который содержит более 1600 терминов, раскрывающих важные положения для контроля процесса спортивной подготовки.

Глава II. Общие основы метрологии

Развитие науки и техники всегда было связано с прогрессом в области измерений. В физике, механике и других точных науках именно измерения позволяли устанавливать зависимости, отражающие объективные законы природы. Вместе с тем, и в ряде других наук, таких как физиология, медицина, биомеханика, педагогика и др., измерения являются одним из основных способов познания закономерностей функционирования биологических объектов, систем организма человека и т. д. Большое значение измерений для науки подчеркивали многие ученые: «Измеряй все доступное измерению и делай доступным все недоступное ему» (Г.Галилей); «Наука начинается с тех пор, как начинает измерять, точная наука немислима без меры» (Д.И. Менделеев).

В настоящее время все более широкое применение измерений отмечается в спортивной науке и практике. При этом используются почти все существующие виды и методы измерений (радиоэлектронные, оптоэлектронные, биофизические, биохимические, ультразвуковые, лазерные и др.). Эти многочисленные средства и методы измерений широко используются для решения самых разнообразных задач комплексного контроля и управления процессом подготовки спортсменов высокой квалификации, а также занимающихся массовыми формами физического воспитания и профессионально-прикладной физической подготовкой. Вместе с тем, именно специфические особенности спортивно-педагогических измерений, осуществляемых на таком сложном биообъекте, каким является спортсмен высокой квалификации в экстремальных динамических условиях его двигательной деятельности, не нашли до настоящего времени должного теоретического и экспериментального обоснования.

Измерения различают по способу получения информации, по характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений, по количеству измерительной информации, по отношению к основным единицам. По способу получения информации измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Прямые измерения - это непосредственное выражение

физической величины её мерой. Например, при определении длины предмета линейкой происходит выражение искомой величины (количественного выражения значения длины) линейной мерой.

Косвенные измерения отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливают по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью. Так, если измерить силу тока амперметром, а напряжение вольтметром, то по известной функциональной зависимости трех величин можно рассчитать мощность электрической цепи.

Совместные измерения - это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними. Совокупные и совместные измерения часто применяют в измерениях различных параметров и характеристик в различных областях.

По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений бывают статистические, динамические и статические измерения. *Статистические измерения* связаны с определением числовых характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т. д. *Статические измерения* имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна. *Динамические измерения* связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения. Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.

По количеству измерительной информации различают однократные и многократные измерения. *Однократные измерения* - это одно измерение одной величины, то есть число измерений равно числу измеряемых величин. Практическое применение такого вида измерений всегда сопряжено с большими погрешностями, поэтому следует проводить не менее трех однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение. *Многократные измерения* характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин. Обычно минимальное число измерений в данном случае не меньше трех. Преимущество многократных измерений в значительном снижении влияний случайных факторов на погрешность измерения.

По отношению к основным единицам измерения делят на абсолютные и относительные. Абсолютными измерениями называют такие, при которых используется прямое измерение одной (иногда нескольких) основной величины и физическая константа. Так, в известной формуле Эйнштейна $E=mc^2$ масса (m) - основная физическая величина, которая может быть измерена прямым путем (взвешиванием), а скорость света (c) - физическая константа. Относительные измерения базируются на установлении отношения измеряемой величины к однородной, применяемой в качестве единицы. Естественно, что искомое значение зависит от используемой единицы измерений. С измерениями связаны такие понятия, как «шкала измерений», «принцип измерений», «метод измерений».

§3. Особенности измерений в физической культуре и спорте

Основными измеряемыми и контролируемыми параметрами в спортивной медицине, тренировочном процессе и в научных исследованиях по спорту являются физиологические («внутренние»), физические («внешние») и психологические параметры тренировочной нагрузки и восстановления; параметры качеств силы, быстроты, выносливости, гибкости и ловкости; функциональные параметры сердечнососудистой и дыхательной систем; биомеханические параметры спортивной техники; линейные и дуговые параметры размеров тела. Как и всякая живая система, спортсмен является сложным, нетривиальным объектом измерения. От привычных классических объектов измерения спортсмен имеет ряд отличий: изменчивость, многомерность, квалитативность, адаптивность и подвижность.

Изменчивость – непостоянство переменных величин, характеризующих состояние спортсмена и его деятельность. Непрерывно изменяются все показатели спортсмена: физиологические (потребление кислорода, частота пульса и др.), морфоанатомические (рост, масса, пропорции тела и т. п.), биомеханические (кинематические, динамические и энергетические характеристики движений), психофизиологические и т. д. Изменчивость делает

необходимыми многократные измерения и обработку их результатов методами математической статистики.

Многомерность – большое число переменных, которые нужно одновременно измерять, для того чтобы охарактеризовать состояние и деятельность спортсмена. Наряду с «выходными переменными», характеризующими спортсмена, следует контролировать и «входные переменные», характеризующие влияние внешней среды на спортсмена. Роль входных переменных могут играть интенсивность физических и эмоциональных нагрузок, концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе, температура окружающей среды и т. д. Стремление уменьшить число измеряемых переменных – характерная особенность спортивной метрологии. Оно обусловлено не только организационными трудностями, возникающими при попытках одновременно зарегистрировать много переменных, но и тем, что с ростом числа переменных резко возрастает трудоемкость их анализа.

Квалитативность – качественная характеристика, при отсутствии точной количественной меры. Физические качества спортсмена, свойства личности и коллектива, качество инвентаря и многие другие факторы спортивного результата еще не поддаются точному измерению, но, тем не менее, должны быть оценены как можно точнее. Без такой оценки затруднен дальнейший прогресс как в спорте высших достижений, так и в массовой физкультуре, остро нуждающейся в контроле состояния здоровья и нагрузок занимающихся.

Адаптивность – свойство человека приспосабливаться (адаптироваться) к окружающим условиям. Адаптивность лежит в основе обучаемости и дает спортсмену возможность осваивать новые элементы движений и выполнять их в обычных и в усложненных условиях (на жаре и холоде, при эмоциональном напряжении, утомлении, гипоксии и т. д.). Но одновременно адаптивность усложняет задачу спортивных измерений. При многократных исследованиях спортсмен привыкает к процедуре исследования («учится быть исследуемым») и по мере такого обучения начинает показывать иные результаты, хотя его функциональное состояние при этом может оставаться неизменным.

Подвижность – особенность спортсмена, основанная на том, что в подавляющем большинстве видов спорта деятельность спортсмена связана с непрерывными перемещениями. По сравнению с исследованиями, проводимыми с неподвижным человеком, измерения в условиях спортивной деятельности сопровождаются дополнительными искажениями регистрируемых кривых и ошибками в измерениях.

§4. Шкалы измерений

Шкала измерений - это упорядоченная совокупность значений физической величины, которая служит основой для ее измерения. Поясним это понятие на примере температурных шкал. В шкале Цельсия за начало отсчета принята температура таяния льда, а в качестве основного интервала (опорной точки) - температура кипения воды. Одна сотая часть этого интервала является единицей температуры (градус Цельсия). В температурной шкале Фаренгейта за начало отсчета принята температура таяния смеси льда и нашатырного спирта (либо поваренной соли), а в качестве опорной точки взята нормальная температура тела здорового человека. За единицу температуры (градус Фаренгейта) принята одна девяносто шестая часть основного интервала. По этой шкале температура таяния льда равна + 32°F, а температура кипения воды + 212°F. Таким образом, если по шкале Цельсия разность между температурой кипения воды и таяния льда составляет 100°C, то по Фаренгейту она равна 180°F. На этом примере мы видим роль принятой шкалы, как в количественном значении измеряемой величины, так и в аспекте обеспечения единства измерений. В данном случае требуется находить отношение размеров единиц, чтобы можно было сравнить результаты измерений, то есть $t^{\circ}\text{F}/t^{\circ}\text{C}$. В метрологической практике известны несколько разновидностей шкал: шкала наименований, шкала порядка, шкала интервалов, шкала отношений и др.

Шкала наименований - это своего рода качественная, а не количественная шкала, она не содержит нуля и единиц измерений. Примером может служить атлас цветов (шкала цветов). Процесс измерения заключается в визуальном

сравнении окрашенного предмета с образцами цветов (эталонными образцами атласа цветов). Поскольку каждый цвет имеет немало вариантов, такое сравнение под силу опытному эксперту, который обладает не только практическим опытом, но и соответствующими особыми характеристиками зрительных возможностей.

Шкала порядка характеризует значение измеряемой величины в баллах (шкала землетрясений, силы ветра, твердости физических тел и т. п.).

Шкала интервалов (разностей) имеет условные нулевые значения, а интервалы устанавливаются по согласованию. Такими шкалами являются шкала времени и шкала длины.

Шкала отношений имеет естественное нулевое значение, а единица измерений устанавливается по согласованию. Например, шкала массы (обычно мы говорим «веса»), начинаясь от нуля, может быть градуирована по-разному в зависимости от требуемой точности взвешивания. Сравните бытовые и аналитические весы. В общем виде *измерением* какой-либо величины называется операция, в результате которой определяется, во сколько раз или насколько эта величина отличается от другой величины, принятой за эталон.

§5. Физические величины как объект измерений

Объектом измерений являются *физические величины*, которые принято делить на основные и производные. *Основные величины* не зависят друг от друга, но они могут служить основой для установления связей с другими физическими величинами, которые называют производными от них. Вспомним уже упомянутую формулу Эйнштейна, в которую входит основная единица - масса, а энергия - это производная единица, зависимость между которой и другими единицами определяет данная формула. Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным - производные единицы измерений. Совокупность основных и производных единиц называется *системой единиц физических величин*. Первой системой единиц считается метрическая система, где, как уже отмечалось выше, за основную единицу длины был принят метр,

за единицу веса - вес 1 см^3 химически чистой воды при температуре около $+4^\circ\text{C}$ - грамм (позже - килограмм). В 1799г. были изготовлены первые прототипы (эталон) метра и килограмма. Кроме этих двух единиц метрическая система в своем первоначальном варианте включала еще и единицы площади (*ар* - площадь квадрата со стороной 10 м), объема (*стер*, равный объему куба с ребром 10 м), вместимости (*литр*, равный объему куба с ребром 0,1 м). Таким образом, в метрической системе еще не было четкого подразделения единиц величин на основные и производные. Понятие системы единиц как совокупности основных и производных впервые предложено немецким ученым К.Ф. Гауссом в 1832 г. В качестве основных в этой системе были приняты: единица длины - *миллиметр*, единица массы - *миллиграмм*, единица времени - *секунда*. Эту систему единиц называли *абсолютной*. В 1881 г. была принята система единиц физических величин СГС, основными единицами которой были: *сантиметр* - единица длины, *грамм* - единица массы, *секунда* - единица времени. Производными единицами системы считались единица силы - килограмм-сила и единица работы - эрг. Неудобство системы СГС состояло в трудностях пересчета многих единиц в другие системы для определения их соотношения. В начале XX в. итальянский ученый Джорджи предложил еще одну систему единиц, получившую название МКСА (в русской транскрипции) и довольно широко распространившуюся в мире. Основные единицы этой системы: метр, килограмм, секунда, ампер (единица силы тока), а производные: единица силы - ньютон, единица энергии - джоуль, единица мощности - ватт. Были и другие предложения, что указывает на стремление к единству измерений в международном аспекте. В то же время даже сейчас некоторые страны не отошли от исторически сложившихся у них единиц измерения. Известно, что Великобритания, США, Канада основной единицей массы считают фунт, причем его размер в системе «британских имперских мер» и «старых винчестерских мер» различен. Наиболее широко распространена во всем мире Международная система единиц СИ. Рассмотрим ее сущность.

Международная система единиц физических величин (СИ)

Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) в 1954 г. определила шесть основных единиц физических величин для их использования в международных отношениях: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча. XI «Генеральная конференция по мерам и весам» в 1960 г. утвердила международную систему единиц, обозначаемую SI (от начальных букв французского названия Systeme International d'Unites), на русском языке - СИ. В последующие годы генеральная конференция приняла ряд дополнений и изменений, в результате чего в системе стало семь основных единиц, дополнительные и производные единицы физических величин, а также разработала следующие определения основных единиц:

- **единица длины - метр** - длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды;
- **единица массы - килограмм** - масса, равная массе международного прототипа килограмма;
- **единица времени - секунда** - продолжительность 9192631770 периодов излучения, которое соответствует переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;
- **единица силы электрического тока - ампер** - сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную $\times 10^{-7}$ Н на каждый метр длины;
- **единица термодинамической температуры - кельвин** - $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки йода. Допускается также применение шкалы Цельсия;
- **единица количества вещества - моль** - количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг;
- **единица силы света - кандела** - сила света в заданном

направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 5400^{12} Гц, энергетическая сила которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Приведенные определения довольно сложны и требуют достаточного уровня знаний прежде всего в физике. Но они дают представление о природном, естественном происхождении принятых единиц, а толкование их усложнялось по мере развития науки и благодаря новым высоким достижениям теоретической и практической физики, механики, математики и других фундаментальных областей знаний. Это дало возможность, с одной стороны, представить основные единицы как достоверные и точные, а с другой - как объяснимые и как бы понятные для всех стран мира, что является главным условием для того, чтобы система единиц стала международной. Международная система СИ считается наиболее совершенной и универсальной по сравнению с предшествовавшими ей. Кроме основных единиц в системе СИ есть дополнительные единицы для измерения плоского и телесного углов — *радиан* и *стерадиан* соответственно, а также большое количество производных единиц пространства и времени, механических величин, электрических и магнитных величин, тепловых, световых и акустических величин, а также ионизирующих излучений. После принятия международной системы единиц ГКМВ практически все крупнейшие международные организации включили ее в свои рекомендации по метрологии и призвали все страны - члены этих организаций принять ее. В нашей стране система СИ официально была принята путем введения в 1963 г. соответствующего государственного стандарта, причем следует учесть, что в то время все государственные стандарты имели силу закона и были строго обязательны для выполнения. На сегодняшний день система СИ действительно стала международной, но вместе с тем, применяются и внесистемные единицы, например, *тонна*, *сутки*, *литр*, *гектар* и др.

§6. Средства измерений

Для практического измерения единицы величины применяются технические средства, которые имеют нормированные погрешности и называются *средствами измерений*. К средствам измерений относятся: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и системы, измерительные принадлежности.

Мерой называют средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. К данному виду средств измерений относятся гири, концевые меры длины и т. п. На практике используют однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер. *Однозначные меры* воспроизводят величины только одного размера (гиря). *Многозначные меры* воспроизводят несколько размеров физической величины. Например, миллиметровая линейка дает возможность выразить длину предмета в сантиметрах и в миллиметрах. Наборы и магазины представляют собой объединение (сочетание) однозначных или многозначных мер для получения возможности воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных значений величины. *Набор мер* представляет собой комплект однородных мер разного размера, что дает возможность применять их в нужных сочетаниях. Например, набор лабораторных гирь. *Магазин мер* - сочетание мер, объединенных конструктивно в одно механическое целое, в котором предусмотрена возможность посредством ручных или автоматизированных переключателей, связанных с отсчетным устройством, соединять составляющие магазин меры в нужном сочетании. По такому принципу устроены магазины электрических сопротивлений. К однозначным мерам относят стандартные образцы и стандартные вещества. *Стандартный образец* - это должным образом оформленная проба вещества (материала), которая подвергается метрологической аттестации с целью установления количественного значения определенной характеристики. Эта характеристика (или свойство) является величиной с известным значением при установленных условиях внешней среды. К подобным образцам относятся, например, наборы минералов с конкретными значениями твердости (шкала

Мооса) для определения этого параметра у различных минералов. Стандартным образцом является образец чистого цинка, который служит для воспроизведения температуры 419,527°С по международной температурной шкале МТШ-90.

При пользовании мерами следует учитывать номинальное и действительное значения мер, а также погрешность меры и ее разряд. *Номинальным* называют значение меры, указанное на ней. *Действительное значение* меры должно быть указано в специальном свидетельстве как результат высокоточного измерения с использованием официального эталона. Разность между номинальным и действительным значениями называется *погрешностью меры*. Величина, противоположная по знаку погрешности, представляет собой поправку к указанному на мере номинальному значению. Поскольку при аттестации (поверке) также могут быть погрешности, меры подразделяют на разряды (1-го, 2-го и т. д. разрядов) и называют *разрядными эталонами* (образцовые измерительные средства), которые используют для поверки измерительных средств. Величина погрешности меры служит основой для деления мер на классы, что обычно применимо к мерам, употребляемым для технических измерений.

Измерительный преобразователь - это средство измерений, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство. Измерительные преобразователи либо входят в конструктивную схему измерительного прибора, либо применяются совместно с ним, но сигнал преобразователя не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Например, преобразователь может быть необходим для передачи информации в память компьютера, для усиления напряжения и т. д. Преобразуемую величину называют входной, а результат преобразования - выходной величиной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считается соотношение между входной и выходной величинами, называемое *функцией преобразования*.

Преобразователи подразделяются на первичные (непосредственно воспринимающие измеряемую величину); передающие (на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние);

промежуточные (работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение рода физической величины).

Измерительные приборы - это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем. Различаются измерительные приборы прямого действия и приборы сравнения. *Приборы прямого действия* отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. Изменения рода физической величины при этом не происходит. К приборам прямого действия относят, например, секундомеры, амперметры, вольтметры, термометры и т. п. *Приборы сравнения* предназначаются для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы широко используются в научных целях, а также и на практике для измерения таких величин, как яркость источников излучения, давление сжатого воздуха и др. *Измерительные установки и системы* - это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких физических величин объекта измерений. Обычно такие системы автоматизированы и обеспечивают ввод информации в систему, автоматизацию самого процесса измерения, обработку и отображение результатов измерений для восприятия их пользователем. *Измерительные принадлежности* - это вспомогательные средства измерений величин. Они необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности. Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре; психрометр - если четко оговаривается влажность окружающей среды. Следует учитывать, что измерительные принадлежности вносят определенные погрешности в результат измерений, связанные с погрешностью самого вспомогательного средства.

По метрологическому назначению средства измерений делят на два вида - рабочие средства измерений и эталоны. *Рабочие средства измерений* применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств,

технологических процессов, окружающей среды и др. Рабочие средства могут быть *лабораторными* (для научных исследований), *производственными* (для обеспечения и контроля заданных характеристик технологических процессов), *полевыми* (для самолетов, автомобилей, судов и в том числе для контроля в спортивной практике). Каждый из этих видов рабочих средств отличается особыми показателями. Так, лабораторные средства измерений - самые точные и чувствительные, а их показания характеризуются высокой стабильностью. *Производственные* - обладают устойчивостью к воздействиям различных факторов производственного процесса: температуры, влажности, вибрации и т. п., что может сказаться на достоверности и точности показаний приборов. *Полевые* - работают в условиях, постоянно изменяющихся в широких пределах внешних воздействий.

6.1. Поверка средств измерений

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (органами ГМС) или другими уполномоченными на то органами и организациями с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям. В соответствии с законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации. Допускаются продажа и выдача на прокат только поверенных средств измерений. В развитие закона Госстандарт России утвердил ряд документов, регламентирующих различные аспекты поверочной деятельности, основные из них:

- ПР 50.2.006-94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения»;
- ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений»;
- ПР 50.2.007-94 «ГСИ. Поверительные клейма».

В ПР 50.2.006-94 установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы ГМС, государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также

аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Поверка проводится физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя в соответствии с ПР 50.2.012-94, по нормативным документам, утверждаемым по результатам испытаний с целью утверждения типа. Результат поверки - подтверждение пригодности средств измерений к применению или признание средства измерений непригодным к применению. Если средство измерений по результатам поверки признано пригодным к применению, то на него и (или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и (или) выдается «Свидетельство о поверке». Если по результатам поверки средство измерений признано непригодным к применению, оттиск поверительного клейма и (или) «Свидетельство о поверке» аннулируются и выписывается «Извещение о непригодности» или делается соответствующая запись в технической документации.

В России применяются следующие виды поверок средств измерений: первичная, периодическая, внеочередная, инспекционная и экспертная. *Первичной* поверке подвергаются средства измерений утвержденных типов, которые произведены или отремонтированы в России, ввезены по импорту за исключением ситуации действия соответствующего соглашения (договора) о взаимном признании результатов поверки между Госстандартом РФ и национальной организацией по метрологии другой страны. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа, а первичную поверку данные средства измерений не проходят. *Периодической* поверке подлежат находящиеся в эксплуатации (или хранящиеся) средства измерения. Перечень таких средств с учетом областей действия государственного метрологического надзора составляют владельцы этих средств. Поверочные интервалы устанавливаются на основе действующих законодательных положений. Произведенные или отремонтированные средства измерений должны предъявляться на первичную поверку после их приемки отделом технического контроля. Если ремонт производится выездными бригадами, допускается предъявление на поверку средств измерений лицом, производившим ремонт, без предварительной приемки отделом технического контроля.

Средства измерений, находящиеся на длительном хранении, могут не подвергаться периодической поверке. Решение об этом принимает главный метролог юридического лица. Поверке подлежат характеристики средства измерения лишь в применяемом диапазоне измерений. В этих случаях на средствах измерений должна быть нанесена отчетливая надпись или условное обозначение, определяющие область их применения. Соответствующая запись должна быть сделана в эксплуатационных документах.

Внеочередную поверку проводят при эксплуатации (хранении) средств измерений в случае:

- повреждения знака поверительного клейма, а также утраты свидетельства о поверке;
- ввода в эксплуатацию средств измерений после длительного хранения (более одного межповерочного интервала);
- проведения повторной настройки, известного или предполагаемого ударного воздействия на средство измерений или неудовлетворительной работы прибора;
- продажи (отправки) потребителю средств измерений, не реализованных по истечении срока, равного половине межповерочных интервалов на них;
- применения средств измерений в качестве комплектующих по истечении срока, равного половине межповерочных интервалов на них.

Инспекционную поверку проводят для выявления пригодности к применению средств измерений при осуществлении государственного метрологического надзора. *Экспертную* поверку проводят при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Средства измерений должны представляться на поверку по требованию органа ГМС в расконсервированном состоянии, сопровождаться техническим описанием, инструкцией по эксплуатации, паспортом, свидетельством о последней поверке, а при необходимости - комплектующими устройствами.

Поверка проводится на основании заявок юридических (физических) лиц в соответствующий орган ГМС, который проверяет полноту информации, уточняет место, сроки и объем поверки, а также размер оплаты работ заявителем.

Ответственность за сохранность поверяемых средств измерений несут органы ГМС.

6.2. Калибровка

Калибровка средств измерений - это совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и/или пригодности к применению средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору. Под пригодностью средства измерения подразумевается соответствие его метрологических характеристик ранее установленным техническим требованиям, которые могут содержаться в нормативном документе или определяться заказчиком. Вывод о пригодности делает калибровочная лаборатория.

Калибровка заменила ранее существовавшую в нашей стране ведомственную поверку и метрологическую аттестацию средств измерений. В отличие от поверки, которую осуществляют органы государственной метрологической службы, калибровка может проводиться любой метрологической службой (или физическим лицом) при наличии надлежащих условий для квалифицированного выполнения этой работы. Калибровка - добровольная операция и ее может выполнить также и метрологическая служба самого предприятия. Это еще одно отличие от поверки, которая, как уже сказано выше, обязательна и подвергается контролю со стороны органов ГМС. Однако добровольный характер калибровки не освобождает метрологическую службу предприятия от необходимости соблюдать определенные требования. Главное из них - прослеживаемость, то есть обязательная «привязка» рабочего средства измерений к национальному (государственному) эталону. Таким образом, функцию калибровки следует рассматривать как составную часть национальной системы обеспечения единства измерений. А если учесть, что принципы национальной системы обеспечения единства измерений гармонизованы с международными правилами и нормами, то калибровка включается в мировую систему обеспечения единства измерений. Выполнение указанного требования («привязки» к эталону) важно и с другой точки зрения:

измерения - это неотъемлемая часть технологических процессов, то есть они непосредственно влияют на качество продукции. В этой связи результаты измерений должны быть сравнимы, что достигается только передачей размеров единиц от государственных эталонов и соблюдением норм и правил законодательной метрологии.

6.3. Методы и схемы поверки

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений:

- непосредственное сличение с эталоном;
- сличение с помощью компаратора;
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Для **второго метода** необходим *компаратор* - прибор сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину. Например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой - переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено - компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и

будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом принцип этого метода аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений применяется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями, либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Поверочные схемы

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют поверочные схемы, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Поверочные схемы разделяют на государственные и локальные. *Государственные поверочные схемы* распространяются на все средства измерений данного вида, применяемые в стране. *Локальные поверочные схемы*

предназначены для метрологических органов министерств, распространяются они также и на средства измерений подчиненных предприятий. Кроме того, может составляться и локальная схема на средства измерений, используемые на конкретном предприятии. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которые определены государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов. В некоторых случаях бывает невозможно одним эталоном воспроизвести весь диапазон величины, поэтому в схеме может быть предусмотрено несколько первичных эталонов, которые в совокупности воспроизводят всю шкалу измерений. Например, шкала температуры от 1,5 до $1 \cdot 10^5$ °К воспроизводится двумя государственными эталонами. Основным показателем достоверности передачи размера единицы величины является соотношение погрешностей средств измерений между вышестоящей и нижестоящей ступенями поверочной схемы. В идеале это соотношение должно быть 1:10, однако на практике достичь его не удастся, и максимально допустимым соотношением принято считать 1:3. Чем больше величина этого соотношения, тем меньше уверенность в достоверности показаний измерительного прибора.

6.4. Стандартные справочные данные

Государственная служба стандартных справочных данных (ГСССД) как составная часть Государственной метрологической службы представляет собой специализированную общегосударственную систему, обеспечивающую на основе единых научных, методических и организационных положений проведение работы в области данных о физических константах и свойствах веществ (материалов). Служба осуществляет сбор, обработку, оценку, хранение и стандартизацию указанных данных, а также справочно-информационное обслуживание потребителей соответствующих областей науки и производства.

Основные цели ГСССД: обеспечение наиболее

эффективного использования веществ и материалов с помощью исчерпывающей оперативной информации об их свойствах; ускорение получения новых веществ и материалов и определение новых необходимых данных о них путем координации соответствующих работ; повышение производительности научного и инженерного труда уменьшением затрат на поиск информации; достижение соответствующего уровня точности значений физических констант, справочных данных и развитие международного сотрудничества в этой области. Руководит ГСССД специализированный центр в составе информационной системы ВНИИКИ. В состав ГСССД, являющейся по своему характеру межотраслевой системой, включены многие организации Академии наук, промышленности и высшего образования. Служба издает справочники, библиографические указатели, обзоры, которые содействуют оперативному использованию проверенной, унифицированной информации о значениях физических констант, свойствах материалов и веществ заинтересованными организациями. Эти издания дают наиболее достоверный уровень сообщений о результатах исследовательских работ, связанных в том числе с созданием стандартных образцов веществ и материалов. Уровень достоверности данных - весьма важный фактор результатов любой работы их использующей. В этой связи справочные данные классифицируют на стандартные, рекомендуемые и информационные. К стандартным справочным данным относят числовые значения физических констант, свойств материалов и веществ, которые получены на основе анализа и оценки достоверности результатов расчетов (измерений) и утверждены Госстандартом РФ. К рекомендуемым справочным данным относят числовые значения физических констант, свойств материалов (веществ), которые получены путем оценки погрешности результатов измерений (расчетов). Эти данные подлежат утверждению в НПО «Элтест» Госстандарта РФ. К информационным данным относят совокупность сведений об ассортименте (номенклатуре), свойствах и параметрах качества материалов (веществ), производимых и потребляемых в данный период времени.

§7. Эталоны, их классификация и виды

Эталон - это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений. От эталона единица величины передается *разрядным эталонам*, а от них - *рабочим средствам измерений*.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие. *Первичный эталон* - это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным. Национальный эталон утверждается в качестве исходного средства измерения для страны национальным органом по метрологии. В России национальные (государственные) эталоны утверждает Госстандарт РФ. Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей. Сличению подлежат как эталоны основных величин системы СИ, так и производных. Установлены определенные периоды сличения. Например, эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны - один раз в 3 года. Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер воспроизводимой единицы вторичным эталоном сличается с государственным эталоном. *Вторичные эталоны* (их иногда называют «эталонами-копии») могут утверждаться либо Госстандартом РФ, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с особенностями их использования. *Рабочие эталоны* воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и в свою очередь служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений. Самыми

первыми официально утвержденными эталонами были прототипы метра и килограмма, изготовленные во Франции, которые в 1799 г. были переданы на хранение в Национальный архив Франции, поэтому их стали называть «метр Архива» и «килограмм Архива». С 1872 г. килограмм стал определяться как равный массе «килограмма Архива». Каждый эталон основной или производной единицы Международной системы СИ имеет свою интересную историю и связан с тонкими научными исследованиями и экспериментами. Например, принятый в 1791 г. Национальным собранием Франции эталон метра, равный одной десятиллионной части четверти дуги парижского меридиана, в 1837 г. пришлось пересмотреть. Французские ученые установили, что в четверти меридиана содержится не 10 млн., а 10 млн. 856 метров. К тому же известно, что происходят, хотя и незначительные, но все же постоянные изменения формы и размера Земли. В этой связи ученые Петербургской академии наук в 1872 г. предложили создать международную комиссию для решения вопроса о целесообразности внесения изменений в эталон метра. Комиссия решила не создавать новый эталон, а принять в качестве исходной единицы длины «метр Архива», хранящийся во Франции. В 1875 г. была принята Международная метрическая конвенция, которую подписала и Россия. Этот год метрологи считают вторым рождением метра как основной международной единицы длины.

Уже в XX в. (1967 г.) были опубликованы исследования более точного измерения парижского меридиана, которые показали, что четверть меридиана равна 10 млн. 1954,4 метра. Таким образом, «метр Архива» всего на 0,2 мм короче меридионального метра. В 1889 г. был изготовлен 31 экземпляр эталона метра из платиноиридиевого сплава. Оказалось, что эталон № 6 при температуре 0°C точно соответствует длине «метра Архива», и именно этот экземпляр эталона по решению I-ой Генеральной конференции по мерам и весам был утвержден как международный эталон метра, который хранится в г. Севре (Франция). Остальные 30 эталонов были переданы разным государствам. Россия получила № 28 и № 11, причем в качестве государственного был принят эталон № 28. Погрешность платиноиридиевых эталонов метра, равная $+ 1,1 \cdot 10^{-7}$ м уже в начале XX в. оценивалась как неудовлетворительная, и в 1960 г.

XI Генеральная конференция по мерам и весам выработала другое определение метра - в длинах световых волн, что основано на постоянстве длины волны спектральных линий излучения атомов. Это основа криптонового эталона метра. Погрешность криптонового эталона намного меньше, чем платиноиридиевого, и равна $5,0 \cdot 10^{-9}$. Однако в космический век и эта точность оказалась недостаточной, а новейшие достижения науки позволили в 1983 г. на XVII Генеральной конференции мер и весов принять новое определение метра как длины пути, проходимого светом за $1/299792458$ доли секунды в условиях вакуума. Следует отметить, что на этой же конференции было объявлено точно определяемое современной наукой значение скорости света.

Не менее интересна история эталона единицы массы. «Килограмм Архива», который был принят за эталон массы в 1872 г., представляет собой платиновую цилиндрическую гирю, высота и диаметр которой равны по 39 мм. Прототипы (вторичные эталоны) для практического применения были сделаны из платиноиридиевого сплава. За международный прототип килограмма была принята платиноиридиевая гиря, по точности в наибольшей степени соответствующая массе «килограмма Архива». По решению I Генеральной конференции по мерам и весам России из 42 экземпляров прототипов килограмма были переданы № 12 и № 26, причем № 12 утвержден в качестве государственного эталона массы (см. рис. 1). Прототип № 26 использовался как вторичный эталон.

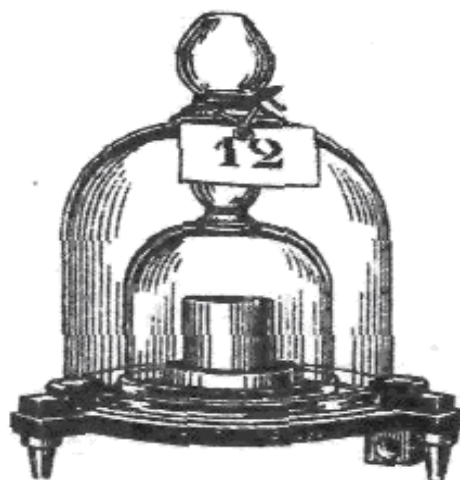


Рис. 1. Способ хранения эталона массы

Национальный (государственный) эталон массы хранится в НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург) на кварцевой подставке под двумя стеклянными колпаками в стальном сейфе, температура воздуха поддерживается в пределах $20 \pm 3^\circ\text{C}$, относительная влажность 65%. Один раз в 10 лет с ним сличаются два вторичных эталона.

При сличении с международным эталоном наш национальный эталон массы получил значение 1,0000000877 кг. Для передачи размера единицы массы от прототипа № 12 вторичным эталонам используются специальные (на 1 кг) весы № 1 и № 2 с дистанционным управлением. Весы № 1 изготовлены фирмой «Рупрехт», а № 2 - НПО «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Погрешность воспроизведения килограмма на данных весах составляет $2 \cdot 10^{-9}$. За 100 с лишним лет существования описанного прототипа килограмма, конечно, были попытки создать более современный эталон на основе фундаментальных физических констант масс различных атомных частиц (протона, электрона и т. д.). Однако на современном уровне научно-технического прогресса пока не удалось воспроизвести этим новейшим методом массу килограмма с меньшей погрешностью, чем существующая. Отклонения массы эталонов, определяемые при международных сличениях, показывают достаточную степень ее стабильности.

§8. Технические средства контроля эффективности обучения и тренировки

Развитие науки и техники позволяет обеспечить эффективный инструментальный контроль над подготовкой в физической культуре и спорте. В том числе имеется возможность более эффективно проводить отбор, прогноз в спорте и контроль эффективности тренировочной работы. Новые технологии позволяют повысить точность инструментальных методов контроля. В этой связи следует упомянуть разнообразные лазерные измерители и анализаторы двигательных характеристик и процессов, протекающих в организме спортсмена. Сюда же нужно включить цифровую фото- и видеорегистрацию, совместимые через инфракрасные порты и

высокоскоростные технологии Bluetooth с компьютерами, имеющими большую емкость оперативной и системной памяти, а также компактные носители информации на CD, DVD, USB Flash. Все это позволяет создавать большие компьютерные базы данных на основе сбора показателей организма спортсменов на разных этапах их подготовки.

8.1 Состав измерительной системы

Отдельные приборы, измерительные блоки, средства передачи информации объединяют в единую систему. Последняя должна включать датчики различного типа (сенсоры, например, датчики ЧСС типа Polar), каналы связи, приемное (регистрирующее) устройство и блок обработки информации (наиболее часто это компьютер, рис. 2).

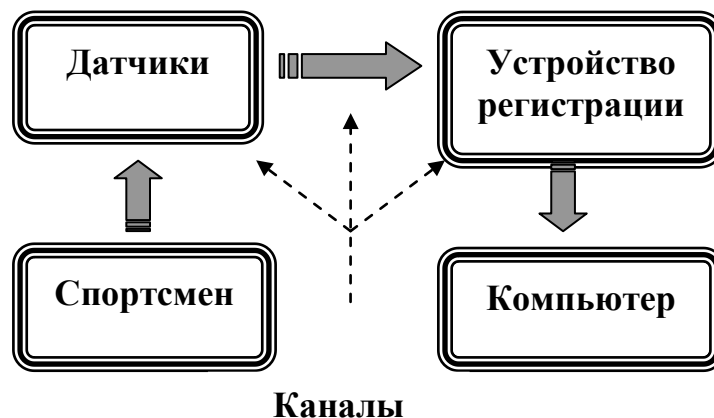


Рис. 2. Состав измерительной системы для регистрации состояния спортсмена

В состав измерительной системы часто включаются блоки оптической регистрации движений. Эти блоки представляют собой методы дистанционного и бесконтактного контроля движений. Они служат целям регистрации кинематических характеристик, включая пространственные, временные и пространственно-временные параметры движений. Результаты фотосъемки и/или видеорегистрации движений предназначены либо для их визуального изучения, либо, как сказано выше, для кинематического анализа (регистрация положений, поз,

перемещений, скоростей и ускорений). В первом случае результаты исследования представляются в виде фотоснимков, видеофильмов, видеоклипов и др. Во втором случае, в комбинации с компьютерной техникой, имеется возможность регистрировать двигательные характеристики и тем самым осуществлять метрологический контроль технической подготовленности спортсменов. Для решения практических задач в настоящее время широко используется цифровая фото- и видеоаппаратура. Приборы этого типа значительно упрощают обработку материала, особенно при использовании прикладных компьютерных программ. После съемки тренировочного или соревновательного сюжета записанное изображение на карту памяти или DVD прибора (фото- или видеокамеры) может быть отправлено в компьютер, используя USB порт, а также инфракрасный или порт Bluetooth. Положения, позы, перемещения можно подвергнуть детальному анализу, используя программу Adobe Photoshop. Для создания видеоклипов элементов техники движений можно использовать программу Adobe Premier. Для непрерывного контроля игровой деятельности в спортивных играх (баскетбол, футбол, хоккей и др.) используются специальные системы, включающие несколько видеокамер, объединенных в общий контур (например, используя карту видеозахвата изображения) при помощи компьютера.

Запись с цифрового фотоаппарата или видеокамеры можно просмотреть после выполнения упражнения и произвести качественный анализ. Вместе с тем имеется возможность наблюдать движения с помощью видеокамеры в реальном масштабе времени (on-line). Для этого камеру присоединяют к DVD- player, а в том случае, когда требуется выполнить захват изображения и записать его на жесткий диск компьютера, необходимо оборудовать компьютер платой видеозахвата. При работе с аналоговыми видеокамерами установка должна включать преобразователь аналогового сигнала в цифровой. Эту задачу хорошо решают компьютерные платы, называемые TV-tuner, которые легко помещаются на «материнскую» плату компьютера. В этом случае наблюдаемое на мониторе компьютера движение спортсмена может быть «захвачено» (опция «capture» - захват) и записано на жесткий диск для

последующей обработки. Этим способом можно регистрировать относительно медленные движения, характерные для гимнастики, акробатики, бега, спортивных игр (то есть не броски и ударные действия). При этом эффективность захвата и записи изображения определяется мощностью процессора компьютера, его быстродействием. Регистрация движений с помощью видеосъемки позволяет эффективно оценивать движения в динамике. Цифровые приборы позволяют фиксировать движения со скоростью более 100 кадров в секунду. Видеозапись изображения движений сочетается с использованием фотоэлектронных методов их регистрации. При помощи фотоэлектронных устройств в спортивной практике точно измеряются моменты окончания движений, например, на финише скоростного бега. Эти методы обладают малой инерционностью и высокой степенью точности.

8.2 Монитор сердечного ритма

Специалисты всегда хотели измерить ЧСС в процессе игры. Для этого приходилось останавливать игрока, «выдёргивать» его из игры, чтобы провести измерения ЧСС пальпаторно. Точность таких измерений была минимальной. С появлением портативных тестеров всё изменилось. Командная система POLAR – уникальная система для планирования командных тренировок и отслеживания их эффективности. Используется такими грандами европейского футбола, как Реал (Мадрид), ЦСКА (Москва) и др. Каждый из 10 нагрудных датчиков, поставляемых в комплекте, оснащён памятью на 11 часов тренировок (при фиксации пульса каждые 5 секунд). Связь с компьютером через порт USB и специальное программное обеспечение POLAR Precision Performance позволяют вывести тренировочный процесс команды на новый уровень.

Командная система POLAR – это научный подход к методике тренировок как профессиональных, так и юных спортсменов, основанный на изучении индивидуальных показателей деятельности сердечнососудистой системы. Система POLAR позволяет мотивировать каждого члена команды, получать самую точную информацию о физическом состоянии

игрока и поддерживать его в максимальной «форме», а также составлять тренировочные программы. Программа POLAR Precision Performance, входящая в комплект поставки, является ключевым компонентом командной системы POLAR и позволяет получать, хранить и обрабатывать физиологическую информацию о 7 последних тренировках, которая собирается при помощи нагрудных датчиков. По заявлению производителя, ЧСС определяется с точностью ЭКГ. Можно использовать эту информацию, чтобы вести записи о физическом состоянии каждого члена команды, для ведения архива тренировок, а также для создания новых тренировочных программ.

Каждый игрок надевает нагрудный ремень–датчик пульса. Мигание зеленого индикатора в центре датчика означает хороший контакт сенсоров с кожей, аудио-сигнал информирует о том, что запись информации о тренировке началась.

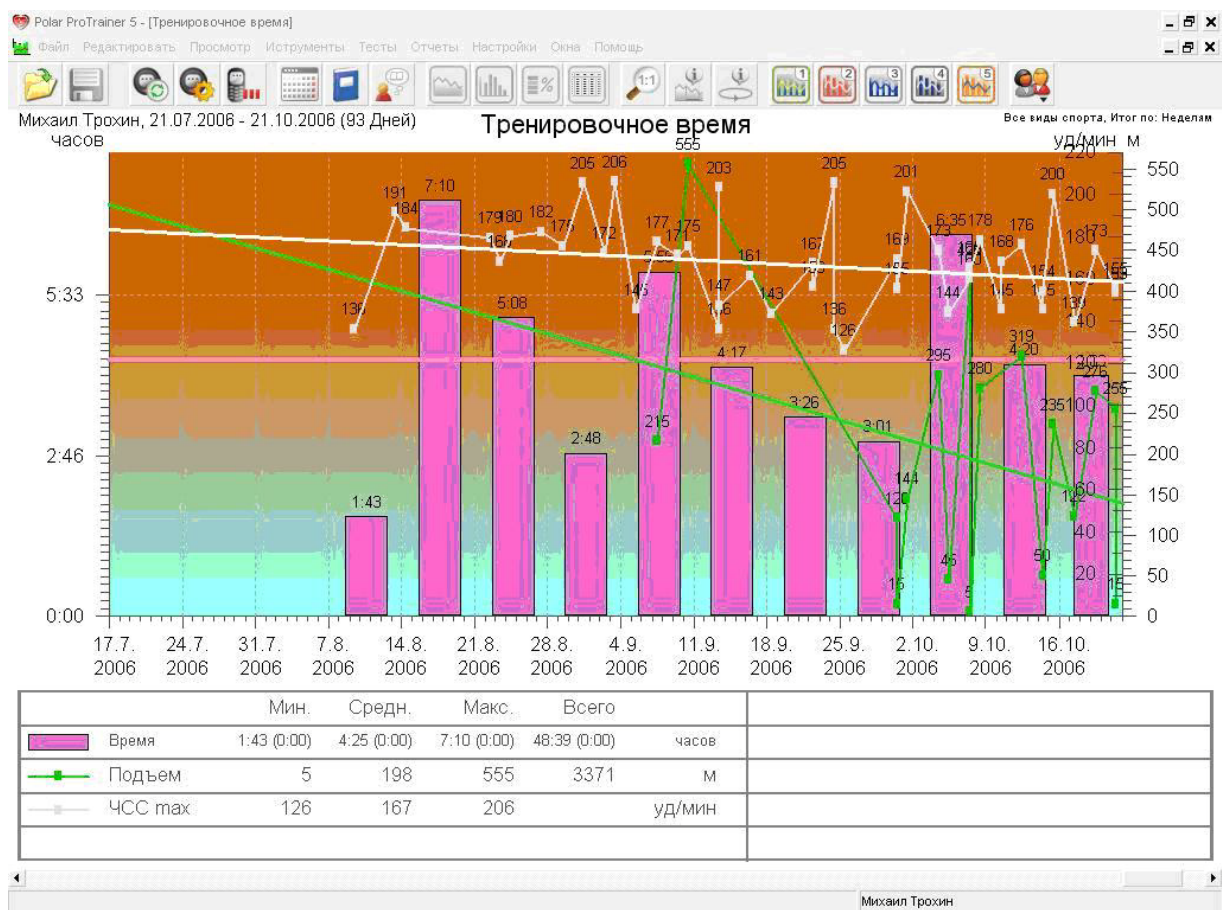


Рис. 3. Совмещенный график и гистограмма тренировочного времени и ЧСС.

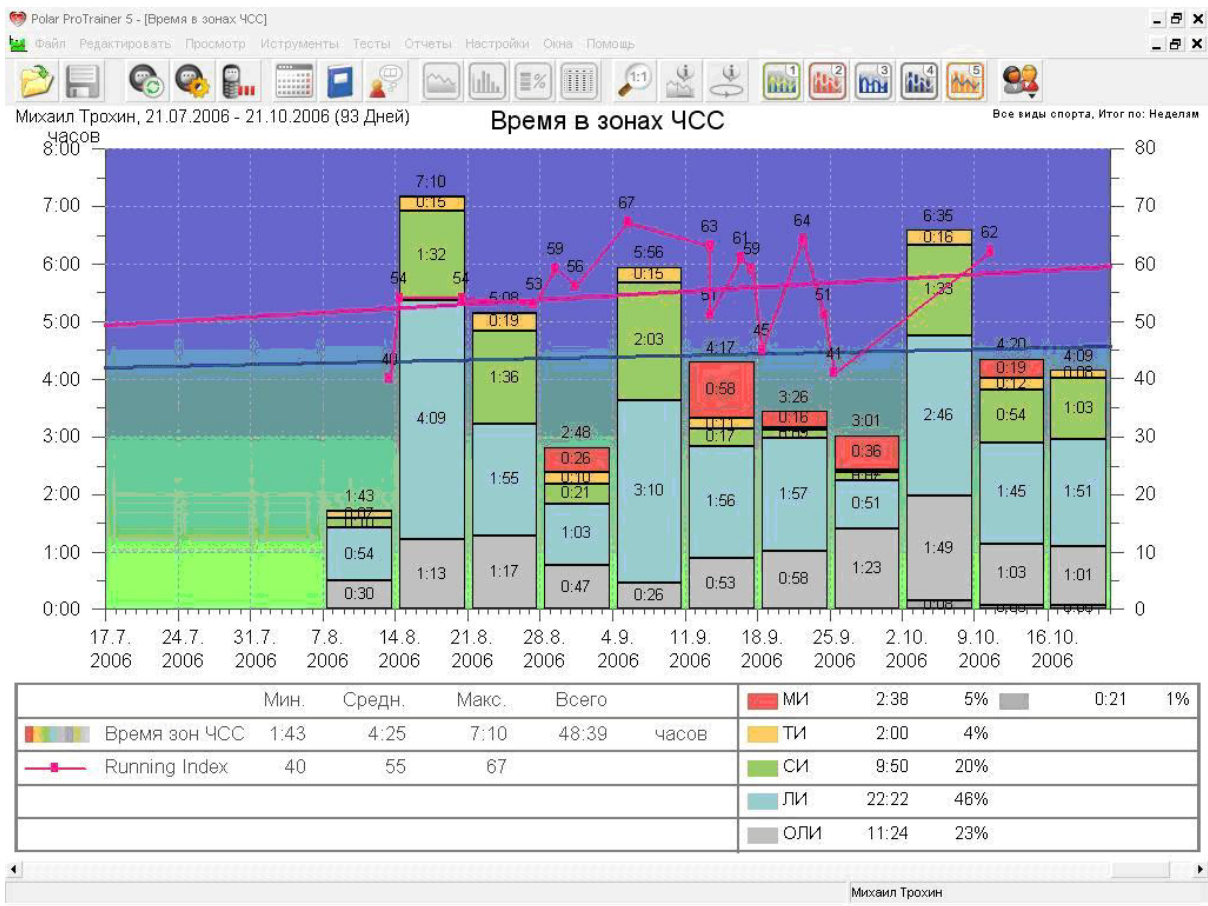


Рис. 4. Время тренировки в различных зонах интенсивности



Рис. 5. Внешний вид устройства Garmin с нагрудным датчиком ЧСС.

Аналогичного действия делает устройства и фирма «Garmin» (см. рис. 5). Входящий в комплект нагрудный датчик, позволяет с точностью ЭКГ отслеживать ЧСС, а при помощи встроенного GPS модуля спутниковой навигации устройство

ведет непрерывное наблюдение за скоростью, пройденным расстоянием, темпом движения, что позволяет повысить эффективность тренировок. С помощью программного обеспечения Training Center, входящего в комплект устройства, можно проводить подробный анализ результатов тренировок на компьютере.

Все представленные выше приборы используются ведущими спортсменами мира. Заявленные параметры погрешности измерения не превышают 1% при измерении ЧСС, и не более 3% при измерении скорости, расстояния и темпа движения, то есть являются объективными с метрологической точки зрения.

Для представителей залных видов спорта система спутниковой навигации для слежения за скоростью, пройденным расстоянием и темпом движения неприменима. Появилась информация о разработке систем на базе ультразвуковых датчиков. Такие системы применяются в автоматизированных производствах для слежения за перемещением роботов.

8.3 Велоэргометры

Для регистрации физической работоспособности и, следовательно, оценки уровня развития выносливости широкое распространение получили велоэргометры. Велотренажеры, величина нагрузки в которых измеряется в Ваттах, которую можно измерить с помощью компьютера, называются велоэргометрами. В отличие от велотренажеров, велоэргометры характеризуются точным контролем нагрузки и точными показаниями. Они имеют магнитную систему нагружения и усложненный компьютер, часто со встроенными программами, которые с высочайшей точностью регулируют сопротивление тренажера в течение всего времени тренировки согласно определенному профилю нагрузки (например «тест Всемирной Организации Здравоохранения», «кардиопрограмма», программа «сжигания жиров») или требуемому уровню пульса («пульс-программа»). Как правило, они требуют подключения к электросети. Все модели велоэргометров можно подключать к персональному компьютеру при помощи программы ERGO-KONCEPT, что безгранично расширяет возможности контроля

тренировочного процесса. Ниже приведены модели и характеристики некоторых эргометров, применяемых для нагрузочного тестирования физической работоспособности (рис. 6 и 7). Все модели оборудованы системой регистрации и обработки показателей.

Технические характеристики KETTLER RX1

- Электромагнитная система нагружения.
- Масса маховика 10 кг.
- Регулировка сопротивления 25-400 Вт с шагом 5 Вт.
- Измерение пульса – датчиком - «клипса».
- Гелевое сиденье, регулируемое по горизонтали и вертикали.
- Транспортировочные ролики и компенсаторы неровности пола.
- Максимальный вес пользователя 130 кг.
- Скорость, время тренировки, пройденная дистанция, расход калорий, пульс, частота вращения педалей, средние значения параметров в конце тренировки, графическое отображение нагрузки в Ваттах.
- Контроль над верхним пределом пульса.
- Возможность задавать собственные параметры тренировки.
- 2 встроенные программы, в том числе:
 - 1 пульсозависимая программа,
 - фитнес-тест.
- РС-вход для Ergo-Concept II™ (RS 232)



Рис. 6. Велозергометр Kettler X1 в комплектации с компьютером

Технические характеристики KETTLER RX7

- Электромагнитная система нагружения.
- Масса маховика 10 кг.
- Изменение нагрузки: 25-400 Вт с шагом 5 Вт.
- Измерение пульса датчиком - «клипса» (нагрудный кардиодатчик входит в комплект).
- Сиденье со спинкой, регулируемое по горизонтали.
- Транспортировочные ролики, компенсаторы неровности пола.
- Максимальный вес пользователя: 150 кг.
- Скорость, время тренировки, пройденная дистанция, расход калорий, пульс, частота вращения педалей, средние значения параметров в конце тренировки, графическое отображение нагрузки в Ваттах, дата/время.
- Контроль над верхним пределом пульса.
- Возможность задавать собственные параметры тренировки.
- 4 пользовательских профайла + 1 гостевой
- 48 встроенных программ, в том числе:
 - 5 пульсозависимых программ,
 - 32 пользовательские программы,
 - фитнес-тест
- РС-вход для Ergo-Concept II™ (USB)

Размеры: 150x61x105 см

Вес: 61 кг



Рис. 7. Велоэргометр KETTLER RX7 в комплектации с компьютером

8.4 Беговые дорожки (тредбаны)

Кроме велоэргометров нагрузочное тестирование можно проводить при помощи беговых дорожек. Последние бывают двух типов: механические и электрические.

Механические не требуют подключения к сети, так как беговое полотно приводится в движение самим человеком. В **электрических** дорожках - электродвигателем. Нагрузка в беговых дорожках может регулироваться двумя способами: изменением угла наклона бегового полотна и изменением скорости движения полотна. Угол наклона варьируется механическим или электрическим способом.

- Механическое изменение - с помощью изменения положения опорных роликов.
- Электрическое - с помощью сигнала от компьютера к электродвигателю (рис. 8).



Рис. 8. Электрическая беговая дорожка для нагрузочного тестирования и тренировки, оборудованная компьютером

В беговых дорожках очень важно наличие амортизирующей платформы, уменьшающей нагрузку на суставы. Необходимо иметь в виду то, что чем шире и длиннее полотно - тем комфортней заниматься бегом, а значит, тем лучше дорожка. Для безопасности каждая электрическая дорожка оборудована

страховочной системой - ключом безопасности. Все беговые дорожки KETTLER сертифицированы по системе TUF и отмечены знаком Европейского стандарта безопасности GS.

Технические характеристики KETTLER BOSTON XL

- Мощность двигателя: 1,8 л.с./ 1,3 кВт.
- Скорость: до 16 км/ч, с шагом 0,1 км/ч.
- Электрическое изменение угла наклона бегового полотна: до 12°.
- Измерение пульса - датчиком - «клипса» или нагрудным кардиодатчиком.
- Система амортизации KETT.FLEX.
- Складная конструкция.
- Транспортировочные ролики.
- Максимальный вес пользователя: 120 кг.
- Время тренировки, пройденная дистанция, скорость, угол наклона бегового полотна, пульс, расход калорий, среднее время прохождения дистанции, профиль величины нагрузки.
- 10 встроенных программ, в том числе:
 - 2 пульсозависимые программы,
 - 2 целевые (время, дистанция, калории),
 - 1 пользовательская программа,
 - функция «Быстрый старт»,
 - фитнес-тест.
- PC-вход для Ergo-Concept™ (RS 232).

§9. Методы регистрации характеристик в спортивной метрологии

Чаще всего процесс наблюдения за спортсменом связан с применением измерительной аппаратуры. Для этого привлекаются известные фирмы, производящие соответствующее оборудование с очень высокой точностью измерения необходимых параметров.

9.1. Оптические методы

К антропометрическим методам сбора и анализа информации относится и способ изучения схемы построения опорно-двигательного аппарата в виде так называемой фотограмметрии. Кратко техника фотограмметрии состоит в следующем: обследуемому предлагают принять естественную, наиболее привычную, удобную позу стояния. Перед ним устанавливают кадровую рамку с сантиметровыми делениями по горизонтальным и одной из вертикальных сторон. Через середину рамки натянута нить, служащая отвесом. Фотографируют и для графического анализа изготавливают фотоснимки, на которых измеряют расстояние в сантиметрах между передневерхними осями таза, наклон бедер по анатомическим осям относительно вертикали, расстояние между центрами коленных суставов, наклон голеней по анатомическим осям, угол физиологического вальгуса голеней, расстояние между центрами опоры стоп. Этот метод даст возможность определить возрастные особенности схемы построения опорно-двигательного аппарата в норме и при различных патологических состояниях.

Метод оптической компьютерной топографии

Важную информацию о геометрии тела человека, об особенностях и нарушении осанки можно получить при исследовании специальным методом компьютерной топографии. Этот современный и самый точный метод позволяет количественно определить координаты любой анатомической точки поверхности тела. Продолжительность обследования составляет 1 - 2 минуты, поэтому этот метод с успехом применяется для массовых исследований.

Кинезиологические методы

Целенаправленные движения человека (локомоции) представляют собой устойчивый паттерн движения, характеризующийся определенными кинематическими, динамическими, временными и пространственными параметрами. Вся совокупность последних может рассматриваться как биомеханическое проявление двигательного образа, который складывается для каждого конкретного человека

в период постнатального онтогенетического развития и претерпевает изменения в результате изменений на любом уровне двигательного анализатора в зависимости от возраста и условий функционирования жизнеобеспечивающих систем организма. Естественно, что регистрация кинезиологических параметров движения является необходимой для его характеристики, и при нарушениях функции опорно-двигательного аппарата, и при изучении локомоции спортсмена. Наиболее достоверные сведения о движении могут быть получены с помощью оптических методов, которые обеспечивают комплексную регистрацию любого количества точек тела человека и внешней обстановки относительно пространственно-временной координатной сетки и дают информацию о кинематике исследуемых точек в форме, удобной для математического анализа. Координаты же, как известно, есть тот материал, из анализа которого может быть почерпнуто максимальное количество сведений о протекании снятого движения. Циклография (от цикла... и ...графия) - метод изучения движений человека путём последовательного фотографирования (до сотен раз в секунду) меток или лампочек, укрепленных на движущихся частях тела. Впервые фотографирование фаз движения было предложено в 80-х гг. XIX в. французским учёным Э. Мареем. Н. А. Бернштейн в 20-х гг. XX в. усовершенствовал и модифицировал этот метод регистрации движений и их метрологическую оценку. Он предложил кимоциклографию - съёмку на передвигающуюся плёнку. На основе анализа циклограмм - циклограмметрии - для ряда движений были получены данные о траектории отдельных точек тела, о скоростях и ускорениях движущихся частей тела, что дало возможность вычислить величины сил, обуславливающих данное движение. Эти сведения легли в основу современных представлений о принципах управления движениями человека, использованы при изучении спортивных движений, двигательных нарушений и др.

Метод кимоциклографии близок к киносъёмке движений с последующей обработкой кадров наподобие циклограмм. Наиболее простым и часто применяемым на практике видом киносъёмки является фотограмметрия. Эта съёмка представляет собой регистрацию движений человека и объектов окружающей

среды в плоскости, перпендикулярной оптической оси аппарата. При этом аппарат устанавливается так, чтобы в его поле зрения находилось все, что будет подвергнуто изучению и последующему анализу. Полученные с помощью оптических методов регистрации экспериментальные данные подвергаются математической обработке. В качестве датчиков («светящихся точек») для получения кинематических характеристик движений конечностей применяют метки или электрические лампочки, которые укрепляют на исследуемых суставах. Снаряжение испытуемого почти невесомо, поэтому оно не вносит никаких изменений в структуру двигательного образа. Конвергентная стереофотограмметрическая съемка и зеркальная циклограмметрия тождественны. Действительно, зеркальная циклограмметрическая съемка под углом α (угол съёмки между главной оптической осью киноаппарата и плоскостью зеркала) есть не что иное, как съемка двумя аппаратами, оптические оси которых конвергируют под углом α . Вычисление пространственных координат производится по формулам математической зависимости между пространственными координатами помещения (в случае, если съемка производится в камеральных условиях) и координатами перспективных изображений.

Кроме аналитических методов в настоящее время нашли широкое распространение различные номографические приемы, основанные на известных положениях синтетической геометрии. Номограмма, с помощью которой осуществляется обработка информации, представляет собой функциональную сетку и служит для получения реальных (действительных) координат любой фиксированной точки на сегменте или суставе конечности.

9.2. Электромеханические методы

В настоящее время в биомеханических исследованиях широкое распространение получили, наряду с оптическими, и электрические методы регистрации. Это можно объяснить в первую очередь тем, что информация, представленная в виде электрических сигналов, является удобной для обработки радио- и электронными приборами. Кроме того, большинство

процессов, протекающих в живых организмах, сопровождается различными электрическими явлениями, что облегчает получение информации в виде электрических сигналов.

При использовании электрических методов регистрации неэлектрических величин (каковыми являются кинематические и динамические составляющие движения) в практике биомеханических исследований применяют измерение и регистрацию кинематических составляющих движения. Они осуществляются с помощью линейных потенциометрических датчиков 2 типов: с входной функцией в виде углового и в виде линейного механического перемещения. Потенциометрические датчики преобразуют функцию механического перемещения в аналоговый электрический сигнал, который затем регистрируется в соответствующем масштабе.

Исследование динамических составляющих движения осуществляют с помощью *тензометрических методов*. В качестве тензочувствительного элемента используют различные тензодатчики - датчики давления. Тензодатчики применяются для определения вертикальных составляющих реакции опоры при ходьбе или для регистрации стабิโลграмм. *Подография* - регистрация времени опоры отдельных участков стопы при ходьбе, с целью изучения функции переката исследуется при помощи специальных датчиков, вмонтированных в подошву обуви. С помощью электромеханического преобразования имеется возможность точного определения общего центра массы тела человека при изменении поз и положений. Для этого используют метод стабิโลграфии. *Стабิโลграфия* - объективный метод регистрации положения и проекции общего центра масс на плоскость опоры - важный параметр механизма поддержания вертикальной позы. Обычно регистрируют площадь миграции общего центра масс (ОЦМ) в проекции горизонтальной плоскости, совмещенный с очерком стопы.

9.3. Радиоэлектронные способы передачи информации

Посредством радиоизмерений определяют, например, параметры резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, электровакуумных и полупроводниковых приборов; вид и характер изменений радиосигналов; режимы работы и

эксплуатационные характеристики электронной и радиотехнической аппаратуры; уровни шумов и интенсивность излучения. Радиоизмерения осуществляются с помощью радиоизмерительных приборов: генераторов стандартных сигналов, измерительных усилителей, осциллографов, калиброванных источников тока и др. В сочетании с различными преобразователями радиоизмерительные приборы применяют также для определения неэлектрических величин (например, температуры, давления).

К радиоизмерительным приборам относят:

- частотомеры электронно-счетные, стрелочные;
- секундомеры механические, электрические, электронные;
- счетчики импульсов;
- осциллографы универсальные, запоминающие, стробоскопические;
- генераторы сигналов низкой частоты, высокой частоты, специальной формы;
- вольтметры переменного тока, указатели уровня, измерители шумов (психометры), микровольтметры селективные;
- измерители параметров линий связи: измерители неоднородностей, измерительные кабельные мосты;
- анализаторы спектра;
- измерители нелинейных искажений;
- блоки питания постоянного и переменного тока;
- приборы эргономического контроля; люкметры, шумомеры, приборы измерения электромагнитного поля.

§10. Метрологический контроль технической подготовленности спортсменов

В содержание этого типа контроля включается оценка объема техники движения спортсмена, разносторонность техники, ее рациональность. То есть определение эффективности того, что умеет спортсмен. Кроме того, важнейшим разделом этого блока контроля является оценка того, как владеет техникой спортсмен - эффективность его техники (рис. 9).



Рис. 9. Основные критерии технической подготовленности спортсмена

Общий объем спортивной техники может быть *тренировочным* и *соревновательным*. Оба этих параметра используются при организации контроля технической подготовки спортсмена. Эффективность техники: абсолютная, сравнительная и реализационная - также является объектом метрологического контроля.

Для контроля технической подготовленности спортсмена (ТПС) используют две группы методов:

- визуальные,
- инструментальные.

Первая группа методов (визуальные) является наиболее распространенной, особенно в таких видах спорта как гимнастика, акробатика, спортивные игры, единоборства, в фигурном катании и некоторых других видах спорта. Это в основном виды спорта, где доминирует кинематическая структура движений. Наблюдения внешней картины движения, выявление их пространственно-временной структуры проводится как начальный этап экспертного оценивания. Этот подход положен в основу оценки эффективности соревновательной деятельности, где судьи-оценщики определяют наиболее совершенную и эффективную соревновательную технику спортсмена.

За эталонную технику в этом случае выбирают техническое выполнение упражнения выдающимся спортсменом (в том числе технику чемпионов и рекордсменов мира или Олимпийских игр). При этом большое значение имеет не внешняя картина перемещений атлета, а динамическая структура или внутреннее содержание движения (усилия, приложенные к опоре или

снаряду). Поэтому спортивный результат во многом зависит от того, как точно спортсмен воспроизводит усилия, скорость их изменения, что в свою очередь зависит от степени совершенства его нервно-мышечного аппарата и сенсорных систем организма (зрительной, слуховой, проприоцептивной и др.).

В связи с тем, что точность аппаратной регистрации различных биомеханических параметров значительно превышает разрешающую способность сенсорных систем организма, появляется возможность использовать аппаратные средства как дополнение к нашим органам чувств. Например, метод электротензометрии позволяет зарегистрировать и измерить усилия, развиваемые спортсменом при выполнении различных физических упражнений и представить эти усилия на мониторе компьютера в удобной для наблюдения форме. Для регистрации двигательных характеристик с целью оценки технической подготовленности спортсмена используются разные измерительные системы. Примером такой системы могут служить мониторы сердечного ритма типа Polar (Финляндия) (рис. 10).



Рис. 10. Внешний вид регистрирующего устройства - монитора сердечного ритма (выполненного в виде наручных часов)

С помощью монитора типа RS800 можно осуществлять контроль и измерения средней длины шага, темп и ритм беговых шагов. А также средние и пиковые значения частоты сердечных сокращений (ЧСС) при любой форме двигательной активности, то есть практически в любом виде спорта. В приборе имеется

большой запас компьютерной памяти, плюс новый датчик шага. Это позволяет детально регистрировать скорости на дистанции ходьбы, бега, лыжных гонок на основе простого кинематического уравнения вида:

$$V = T \times L,$$

где V - скорость горизонтального перемещения в шагательных локомоциях (например, бег, ходьба и др.), T - частота шагов или темп, L - средняя длина одиночного шага.

Состав сложной измерительной системы - это перечень всех элементов в нее входящих, и направленных на решение задачи измерения (рис. 11).

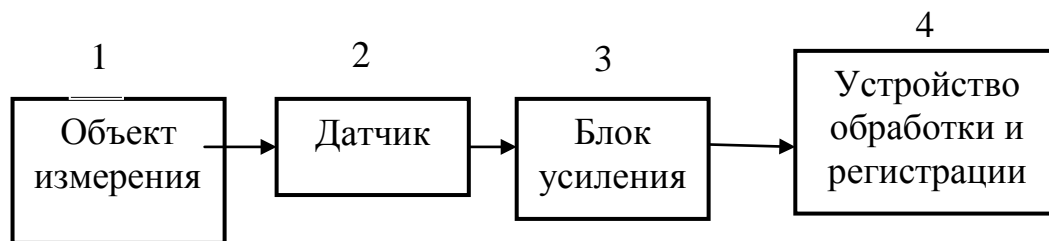


Рис. 11. Схема состава измерительной системы

Характеристика составных частей измерительной системы

1. Объектом измерения может быть любая физическая или химическая реальность окружающего мира.
2. Датчик - это приемник информации. Он аналогичен рецепторам организма человека или животных, его задача - прием, переработка (преобразование от одного носителя информации к другому) и передача информации об изменениях реальностей окружающего мира. Например, датчики биоэлектрических сигналов преобразуют потенциалы действия (ПД) клеток сердечной мышцы, нейронов головного мозга, скелетных мышц, которые используются при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электрокардиограммы (ЭКГ), и электромиограммы (ЭМГ); датчики механических воздействий преобразуют изменения механических характеристик системы, как правило, в электрический сигнал (например, пьезодатчики, или датчики сопротивления).

3. Блок усиления характеризуется коэффициентом усиления.
4. Устройство обработки и регистрации, измеренной информации. Устройство обработки может быть ручным или автоматизированным.

Передача информации от датчика к приемнику осуществляется по различным *каналам связи* (табл. 1).

Таблица 1

Способы передачи информации от датчиков к регистрирующим и преобразующим блокам измерительной системы

Способ передачи сигналов	Физическая основа
1. Фототелеметрия	Свет
2. Акустическая телеметрия	Звук (упругие колебания среды)
3. Проводная телеметрия	Проводники (потоки электронов по ним)
4. Радиотелеметрия (в том числе технологии Bluetooth)	Колебание электромагнитных волн

Статистическая программа Castrol Performance Index (PCI) является новым высокотехнологичным продуктом, который использует системы мониторинга для оценки игры лучших футболистов мира в соответствии с их позицией на поле. Система изучает передвижение игрока и объективно оценивает его вклад в работу команды для достижения победы. По периметру поля размещены 16 видеокамер, подсоединённые к компьютеру, который при помощи специального программного обеспечения каждые 15 минут отслеживает общее количество перемещений каждого игрока, выраженное в метрах, а также определяет максимально достигнутую футболистом (на этом отрезке времени) скорость перемещения в м/с (см. рис. 12, 13).

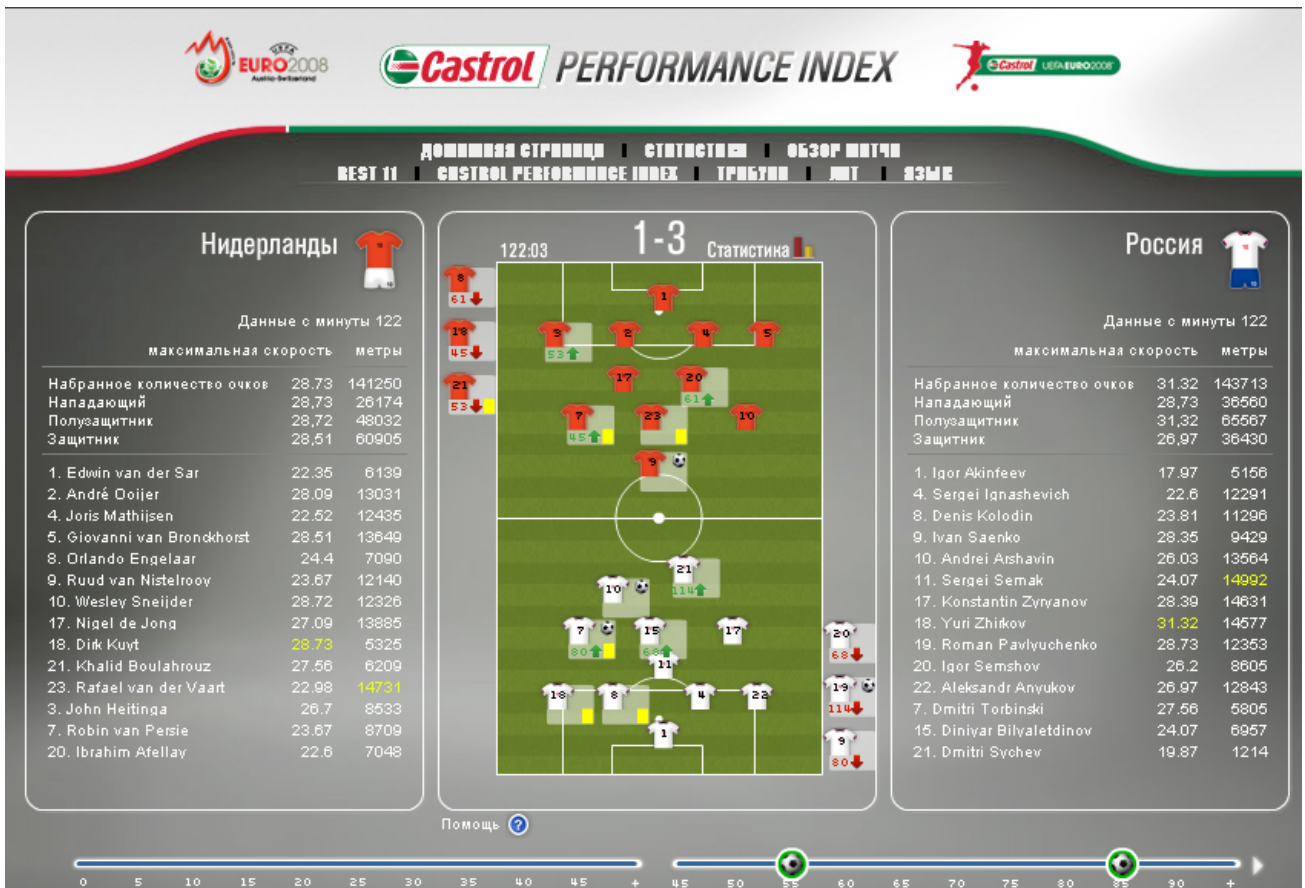


Рис. 12. Персональные показатели игроков за матч.

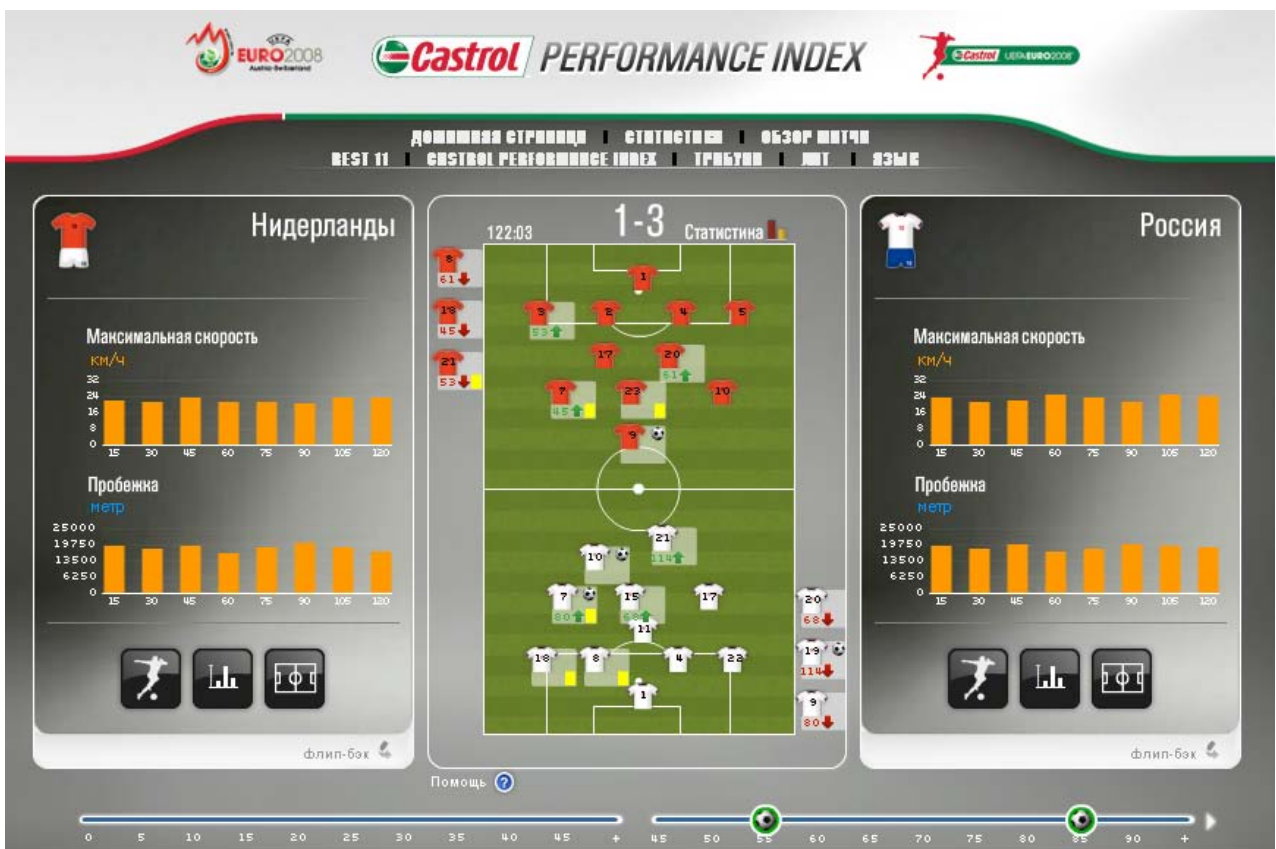


Рис. 13. Максимальная скорость и пробег команд в игре за 15-минутные отрезки

НИДЕРЛАНДЫ		РОССИЯ	
МЕСТО В МИРОВОМ РЕЙТИНГЕ	10	25	МЕСТО В МИРОВОМ РЕЙТИНГЕ
УДАРЫ В СТОР ВОРОТ	8	11	УДАРЫ В СТОР ВОРОТ
УДАРЫ МИМО ВОРОТ	15	13	УДАРЫ МИМО ВОРОТ
УДАР В СТОР ВОРОТ	0	1	УДАР В СТОР ВОРОТ
ГОЛЫ, ЗАБИТЫЕ С ПЕНАЛЬТИ	0	0	ГОЛЫ, ЗАБИТЫЕ С ПЕНАЛЬТИ
НАРУШЕНИЯ	23	27	НАРУШЕНИЯ
ЗАРАБОТАННЫЕ ФОЛЫ	26	22	ЗАРАБОТАННЫЕ ФОЛЫ
ЖЕЛТЫЕ КАРТОЧКИ	3	3	ЖЕЛТЫЕ КАРТОЧКИ
КРАСНЫЕ КАРТОЧКИ	0	0	КРАСНЫЕ КАРТОЧКИ
УГЛОВЫЕ	4	11	УГЛОВЫЕ
ОФСАЙДЫ	6	4	ОФСАЙДЫ
ПЕРЕДАЧИ	560	426	ПЕРЕДАЧИ
РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ ПЕРЕДАЧИ	424	300	РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ ПЕРЕДАЧИ
ПРЯМАЯ ПЕРЕДАЧА	76%	70%	ПРЯМАЯ ПЕРЕДАЧА

Рис. 14. Результаты технических действий игроков команд.

Кроме того, поле разделяется на ряд зон, каждая из которых имеет свою «цену гола» – когда владение в этой зоне приводит к голу. Кроме голевых ситуаций, очки СРІ начисляются игрокам за передачи, проходы, удары по воротам и т. д.

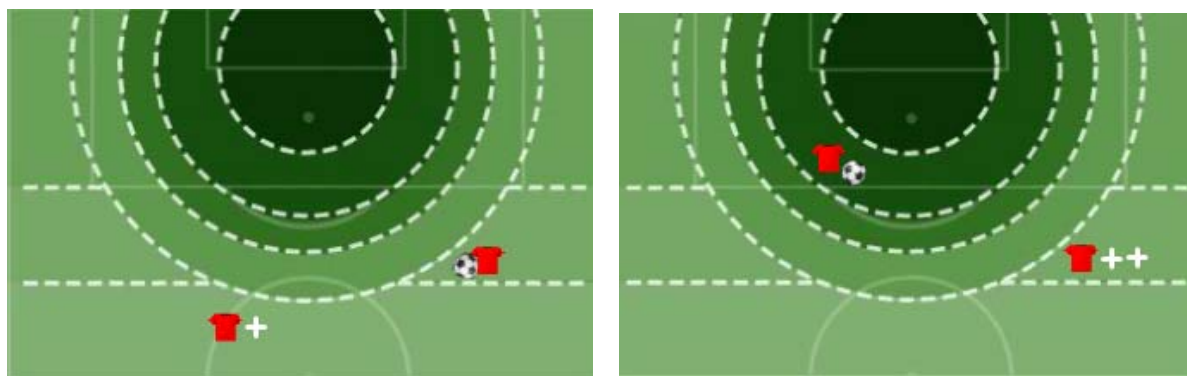


Рис. 15. Пример начисления очков за передачу.

Игроки получают очки СРІ за каждую голевую передачу. Количество начисляемых очков зависит от того, на каком участке футбольного поля была выполнена передача. Вероятность того, что передача приведёт к голу гораздо больше, если этот пас выполнен на половине соперника, поэтому игроку

в этом случае начисляется большее количество очков (см. рис. 15). С другой стороны, при ошибочных передачах мяча или перехвата со стороны соперника, происходит вычет очков.

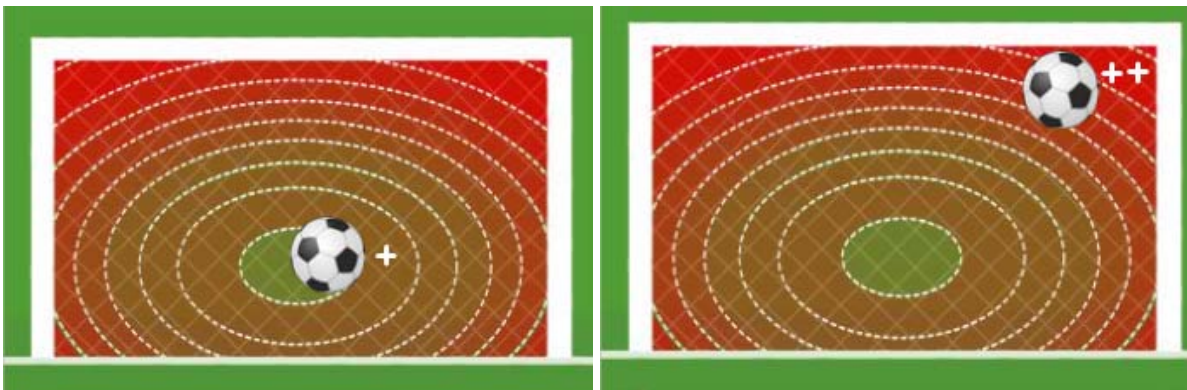


Рис. 16. Пример начисления очков за качество удара по воротам.

При оценке нападающих и вратарей особое внимание уделяется качеству ударов. Возможность попадания в ворота зависит от того, из какого положения был выполнен удар и куда он направлен. Футбольные ворота разделяются на зоны (квадраты) и считается, что попадание в определенные из них увеличивает шанс забить гол. Так, например, ударив по центру ворот, игрок имеет меньше возможностей забить гол, чем пробив в верхний угол (см. рис. 16). Для начисления очков РСІ также принимается во внимание степень сопротивления противника.

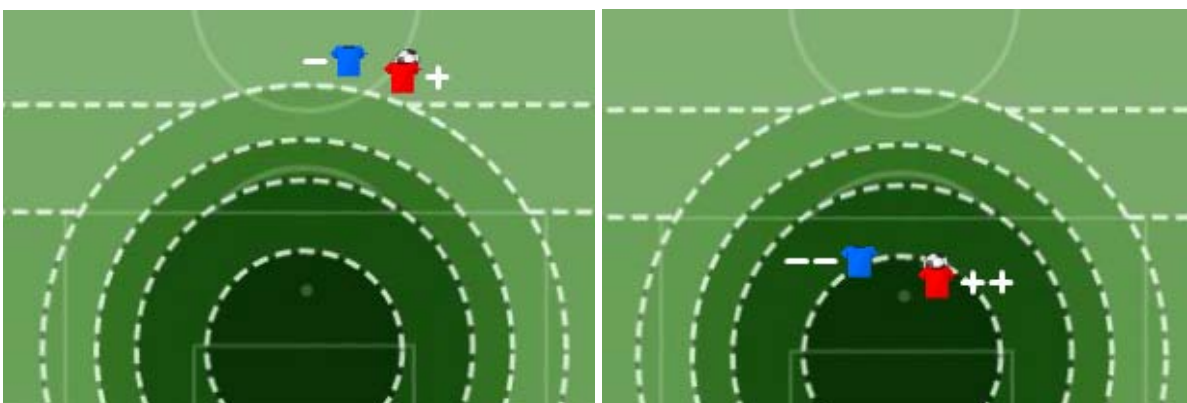


Рис. 17. Пример начисления очков за действия в защите.

Количество очков РСІ, начисляемых за прерывание атаки соперника, зависит от участка поля, где был выполнен защитный приём. При отбивании или отражении удара нападающего в центральной зоне ворот, начисляется большее количество очков,

чем за то же действие в районе боковых линий (рис. 17). Блокировка ударов по воротам, перехваты, отбор мяча с выводом из зоны удара – все эти приёмы тоже добавляют очки, а игра в защите, вызвавшая назначение свободных ударов и пенальти – вычитают.

В настоящее время начинает широко распространяться для передачи информации в компьютер от разных периферийных устройств технология Bluetooth. Bluetooth отличается от других технологий применением маломощных передатчиков. Малые размеры системы, позволяющие устанавливать ее в различные оконечные и периферийные устройства (мобильные и бесшнуровые телефоны, ноутбуки, устройства ввода/вывода ПК, хабы локальных сетей и многие другие), а низкая стоимость гарантирует широкое внедрение новой технологии. В основе технологии Bluetooth лежит принцип радиосвязи при быстром скачкообразном изменении частоты (Fast Frequency Hopping) - 1600 переключений каналов/с в диапазоне частот 2,402–2,480 ГГц. Емкость этой полосы частот - 79 каналов с шириной полосы пропускания канала 1 МГц. Максимальная скорость обмена данными может достигать 1 Мбит/с. Особенностью диапазона 2,4 ГГц является то, что в странах Европы, в Японии и США на основании решений IEEE 802.11 он определен как технический диапазон. Работа излучающих устройств в нем не требует лицензии. В этом диапазоне работают микроволновые печи, беспроводные сети (LAN), другие коммерческие системы передачи данных. Bluetooth использует радиосоединение, обеспечиваемое микрочипом размером всего 9x9 мм. Его базовый протокол является комбинацией схемной и пакетной коммутации и обеспечивает передачу как голоса, так и данных. Каждый голосовой канал поддерживает синхронное соединение 64 Кбит/с, а асинхронный канал может поддерживать асимметричное соединение со скоростями в прямом и обратном направлении соответственно 721 Кбит/с и 57,6 Кбит/с. При использовании дополнительного усилителя мощности в тракте передачи дальность связи может составлять более 100 м. Универсальность и высокие технические характеристики делают новую технологию перспективной. В результате появилась беспроводная технология, способная связывать до восьми устройств в радиусе до десяти метров, причем немало внимания

было уделено использованию Bluetooth для создания сети: телевизор с DVD-проигрывателем и видеомэгаффон, которые могут связываться с компьютером, синхронизирующим в свою очередь данные с сотовым телефоном.

Как работает Bluetooth?

Для связи Bluetooth используется диапазон частот 2400-2483,5 МГц. Базовая скорость передачи данных - 1 Мбит/с. Как и в протоколе IP, данные посылаются отдельными пакетами. В зависимости от состояния трафика, приемники и передатчики могут переключаться между каналами до 1600 раз в секунду. Помимо адреса назначения, контрольные блоки содержат частоту следующего пакета. В результате наличия дополнительной управляющей информации, действительная пропускная способность оказывается равной в лучшем случае $2 \times 432 = 864$ кбит/с. Сети Bluetooth были разработаны с учетом поддержки до восьми устройств, причем такая сеть была названа «пиконет» (piconet). Каждому устройству присваивается статус ведущего (master) или ведомого (slave). Ведущие устройства отвечают за организацию и управление соединениями, включая связь между двумя ведомыми устройствами. Ведущее устройство может одновременно находиться в двух отдельных сетях, в результате чего в цепочку может быть связано до десяти сетей. Поэтому теоретически возможно соединение $8 \times 10 = 80$ устройств, или 72 периферийных устройств.



Рис. 18. Взаимосвязь компьютера и периферийных устройств при помощи технологии Bluetooth

Глава III. Математическое обеспечение метрологического контроля

§11. Первичная обработка спортивных показателей

В математической статистике исследуются утверждения, которые могут быть сделаны на основе измерений некоторой величины. Если выборка объёма n содержит l различных элементов $x: x_1, x_2, x_3, \dots, x_l$, причём x_i встречается m_i раз, то число m_i называют частотой элемента x_i , а сумма частот равна объёму выборки. Также рассматриваются величины $f_i = \frac{m_i}{n}$ – относительные частоты элементов x_i .

Данные измерений записывают в виде вариационного или статистического ряда. *Вариационным* (статистическим) рядом называется таблица, первая строка которой содержит в порядке возрастания элементы x_i , а вторая – их частоты m_i (относительные частоты $f_i = \frac{m_i}{n}$).

В том случае, когда выборка достаточно большая, применяют метод группировки. Для этого диапазон колебаний признака разбивают чаще всего на равные интервалы, длину h которых определяют по формуле:

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}$$

Для определения примерного количества интервалов весь ряд распределения группируют. Для этого применяют формулу Стерджесса:

$$k = 1 + 3,322 \lg n$$

Рассмотрим это на примере высоты выпрыгивания вверх по Абалакову у юных волейболистов ($n=35$). Были получены следующие результаты: 53, 48, 48, 53, 52, 53, 48, 56, 50, 52, 50, 49, 51, 62, 58, 52, 56, 54, 45, 58, 47, 44, 50, 52, 59, 45, 60, 49, 39, 55, 48, 47, 55, 51, 54 см.

Для группирования по таблице десятичных логарифмов находим

$$\lg 35 = 1,544$$

Подставляем в формулу Стерджесса и получаем $k=6,13$, которую округляем до 6. Таким образом, получили, что в нашем случае будет 6 интервалов. Далее по приведённой выше формуле находим длину интервалов

$$h=(62-39)/6=3,75,$$

которую округляем до 4. При формировании первого интервала рекомендуется от минимального значения отступить половину интервала. Таким образом, в нашем случае первый интервал будет начинаться с величины (назовём его x_0):

$$x_0=39-4/2=37$$

В первый интервал попадут числа $37 < x \leq 41$, во второй – $41 < x \leq 45$, и т. д.

Общее количество интервалов получилось больше, чем мы рассчитали, но это связано с округлением чисел при вычислении, и, как было сказано выше, расчёты дают приближённое число этих интервалов.

Теперь подсчитаем наблюдения, попавшие в тот или иной интервал, записав их в таблицу.

Границы разрядов, см	Частоты
37-41	1
41-45	3
45-49	8
49-53	12
53-57	6
57-61	4
Свыше 61	1
	35

Такая таблица называется *интервальным рядом распределения* и показывает, как распределены различные значения исследуемых величин и как часто они встречаются.

Наглядно представить распределение совокупности можно в графической форме. Как правило, применяются две

разновидности: полигон частот (или относительных частот) и гистограмма.

При построении полигона частот по оси абсцисс отмечаются середины границ интервалов, а по оси ординат частоты встречаемости. Полученные точки соединяем отрезками, которые и образуют ломаную – полигон частот.

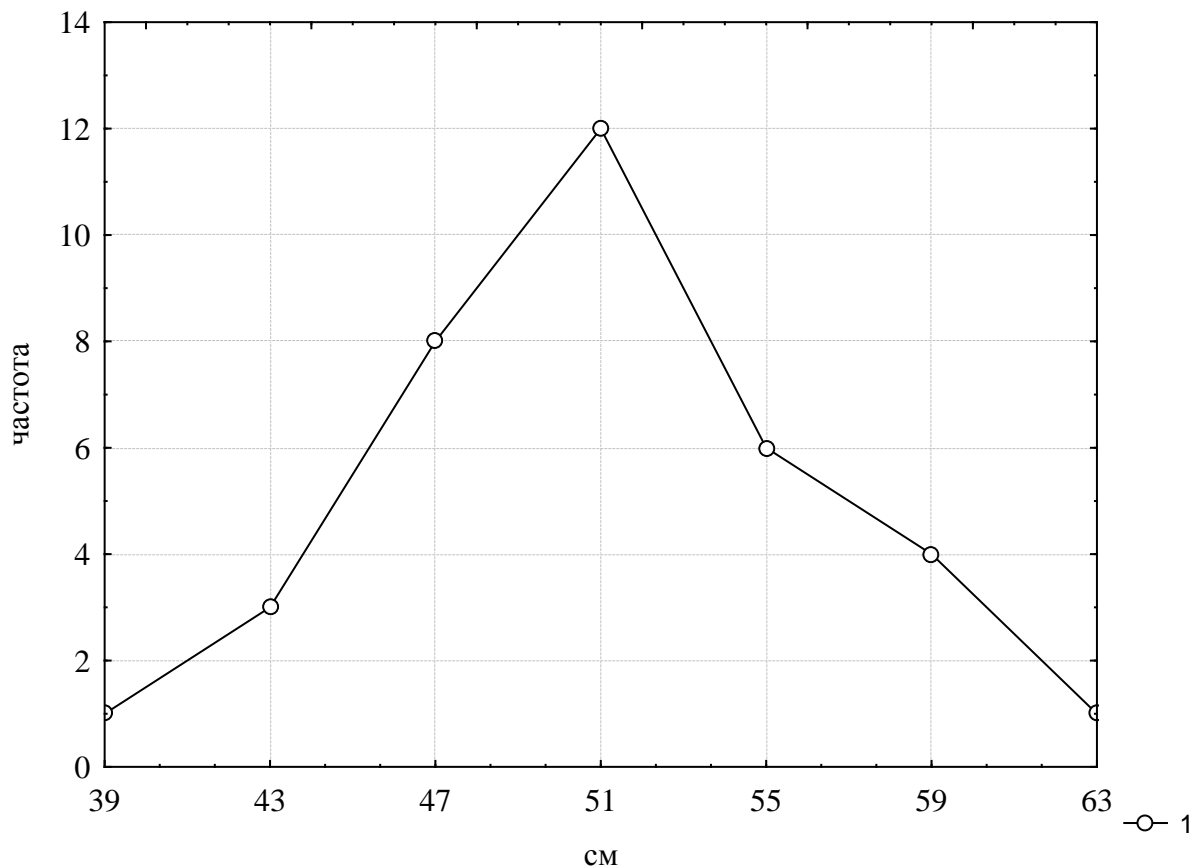


Рис. 19. Полигон частот прыжка вверх по Абалакову юных волейболистов (n=35)

При построении гистограммы на оси абсцисс указываются границы интервалов, на которых располагаются прямоугольники. Высота их равна частоте встречаемости этого интервала, делённой на произведение объёма выборки и длины интервала (рис. 20).

Из способа построения гистограммы следует, что полная её площадь равна единице, что позволяет «сглаживать» гистограмму и по ней приближённо находить классический закон распределения.

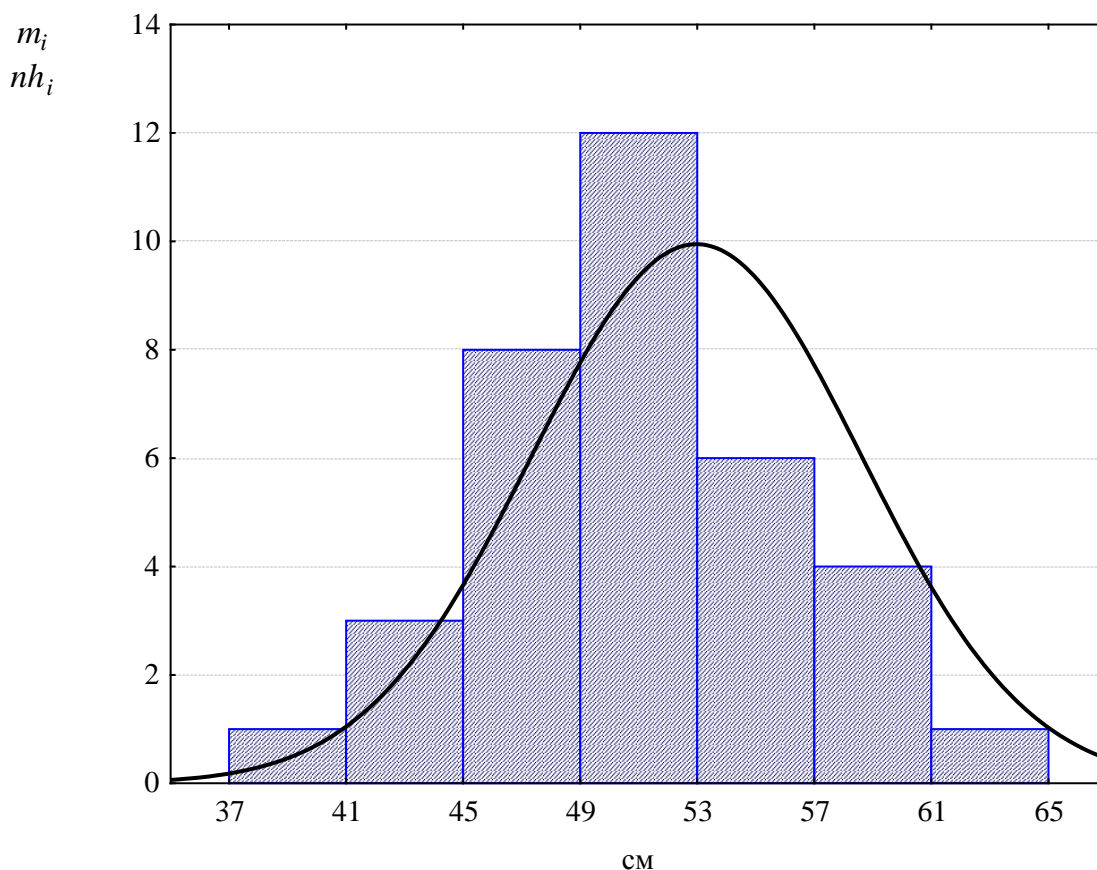


Рис. 20. Гистограмма выборки

Группировки по своему характеру могут быть разными. Если группирование производится по качественному признаку, то они называются *атрибутивными*. Например, деление на группы по видам спорта, по амплуа (вратарь, нападающий, защитник или центральной, крайний нападающий, атакующий защитник и др. При делении по количественному признаку – *количественными*. Например, по определённом возрасту, росту, весу и т. д.

§12. Генеральные параметры и их выборочные оценки

Первичная обработка экспериментальных данных (группировка) и графическое их представление наглядно показывают, как варьирует признак в выборочной совокупности, но они недостаточны для полной характеристики всего объема наблюдений. Необходимы обобщающие числовые характеристики, которые показывают положение центра

эмпирических распределений (среднее арифметическое (\bar{x}); медиана (Me); мода (Mo)), показатели их рассеивания (дисперсия (D); стандартное отклонение σ); коэффициент вариации (V) и асимметрии (коэффициент асимметрии (As); коэффициент эксцесса (Ex)).

12.1. Характеристики положения

A) выборочная средняя.

Выборочная средняя или просто среднее арифметическое принято обозначать той же буквой, что и варианты наблюдений, но над этой буквой ставится символ усреднения – черта. Например, если обозначить исследуемый признак через x , то среднее арифметическое будет обозначаться – \bar{x} .

Выборочная средняя может вычисляться как по необработанным первичным данным, так и по сгруппированным показателям. Точность вычисления по необработанным данным всегда выше, но процесс вычисления оказывается трудоемким при большом объеме наблюдений.

Выборочная средняя рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n},$$

где n – объем выборки (наблюдений); x_i – варианты наблюдений; Σ - знак суммирования.

Если данные представлены в виде вариационного ряда, то применяется формула:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i m_i}{n},$$

где m_i – частоты разрядов; x_i – срединные значение разрядов.

Для практического расчета среднего арифметического \bar{x} воспользуемся данными, приведенными в примере с бюджетами клубов суперлиги по хоккею на 2008/09 гг.

Таблица 2

Бюджет клубов КХЛ на 2008/09 гг.

Клуб	Млн.\$
АК Барс	55
Авангард	50

Салават Юлаев	50
СКА	50
Металлург (Мг)	45
Локомотив	40
Атлант (МО)	35
Динамо (М)	25
Сибирь	25
ЦСКА	22
Торпедо (НН)	20
ХК МВД	20
Спартак (М)	18
Амур	17
Динамо (Мн)	16
Северсталь	15
Нефтехимик	15
Металлург (Нк)	13
Витязь (Чехов)	13
Лада	12
Трактор	11
Динамо (Рига)	11
Барыс (Астана)	10
Химик (МО)	10

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i m_i}{n} = \frac{55 + 50 \times 3 + \dots + 11 \times 2 + 10 \times 2}{24} = 24,92 \text{ млн.}\$$$

Таким образом, средний бюджет клубов КХЛ в сезоне 2008/09 составил 24,92 млн.\$.

Второй подсчёт осуществляется по сгруппированным данным:

X	8-12	12-16	16-24	24-44	44-56
m_i	4	5	6	4	5

$$\bar{x} = \frac{1}{24} (10 \cdot 4 + 14 \cdot 5 + 20 \cdot 6 + 34 \cdot 4 + 50 \cdot 5) \approx 26$$

Б) Мода и медиана.

Существуют ещё две важные характеристики положения вариационного ряда – мода и медиана.

Модой (Mo) является число, наиболее часто встречающееся в вариационном ряду. В нашем примере с бюджетом – это 50 млн.\$, такой бюджет у трёх клубов суперлиги.

Медианой (Me) называется вариант x_l такой, что

$$\sum_{i=1}^l m_i \geq \frac{n}{2} \quad \text{и} \quad \sum_{i=l}^n m_i \geq \frac{n}{2}.$$

Медиана обладает тем свойством, что сумма абсолютных величин отклонений вариантов от медианы меньше, чем от любой другой величины (в том числе и от выборочного среднего).

Предлагается ввести понятие ранжированной медианы. *Медиана* - это такое значение признака, которое делит ранжированный ряд пополам. Рассмотрим данные о результативности знаменитого нападающего Ярославского «Локомотива» Алексея Яшина в сезоне 2008-09 гг.

Таблица 3

Количество голов, забитых А.Яшиным в регулярном чемпионате КХЛ 2008/2009 гг. (по месяцам)

Количество голов	№ месяца					
	1	2	3	4	5	6
А. Яшин	3	3	4	5	4	4

В рассмотренном случае $M_e = 4$, так как

$$3 + 3 + 4 + 5 = 15 \geq \frac{23}{2} \quad \text{и} \quad 5 + 4 + 4 = 13 \geq \frac{23}{2}$$

Таким образом, А. Яшин за период с сентября по декабрь забил столько голов, сколько за оставшиеся три месяца регулярного чемпионата, что свидетельствует о стабильности игрока и способности улучшить результативность к решающим играм в плей-офф.

В нашем примере с прыжком в высоту у волейболистов (см. выше), медиана при ранжировании будет иметь ранг равный 18. А выраженная в результатах – 52 см.

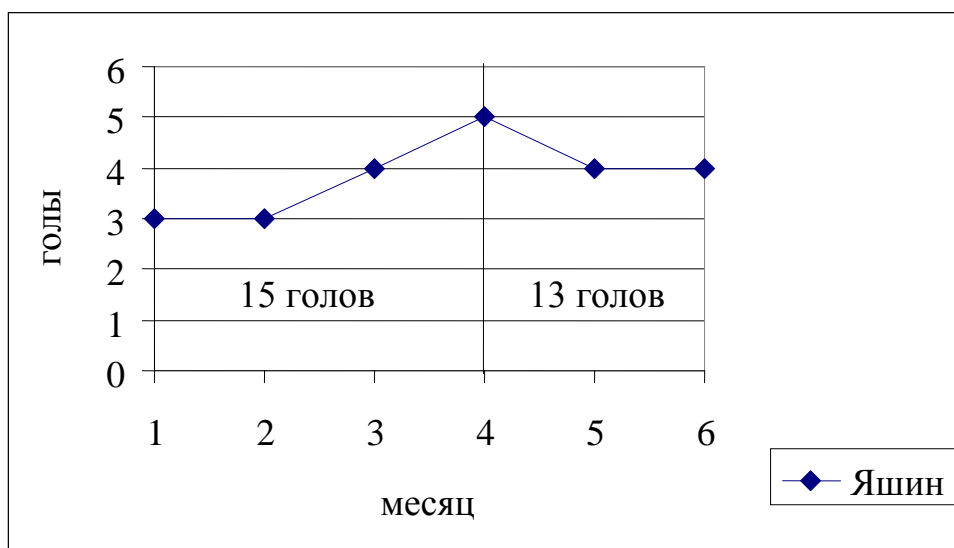


Рис. 21. Количество забитых голов по месяцам регулярного чемпионата 2008/09 гг. и медиана

В) средняя гармоническая взвешенная.

В некоторых случаях среднее значение признака целесообразно рассчитывать по формуле средней гармонической. Средняя гармоническая вычисляется в тех случаях, когда приходится суммировать не сами варианты, а их обратные величины:

$$\bar{x}_{\text{гарм}} = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{x_i}}$$

На следующем примере сравним две вычисленные средние.

Пример. Результативность чемпионатов России по футболу (1992-2007):

	<i>m</i> мячи заб.	игр <i>m/x</i>	\bar{x}
Спартак	976	489	1,996
Локо	755	489	1,544
ЦСКА	761	489	1,556
Торпедо	599	462	1,297
Сатурн	305	270	1,130
Москва	222	210	1,057
Динамо	704	488	1,443
ИТОГО:	4322	2897	

$\bar{x}_{\text{гарм}} = \frac{4322}{2897} \approx 1,492$, которая незначительно отличается от

арифметической средней $\bar{x} = \frac{1,996 + \dots + 1,443}{7} \approx 1,432$

Г) *средняя геометрическая.*

Используется для анализа динамики явления и позволяет определить средний коэффициент роста.

$$\bar{x}_{\text{геом}} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$$

При расчете средней геометрической индивидуальные значения признака обычно представляют собой относительные показатели динамики. Покажем это на примере роста набранных очков и результативности лучших команд России за последние четыре года.

1°. *Зенит*

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	1	61	1,22	54	1,286
2006	4	50	1,02	42	0,933
2005	6	49	0,875	45	0,818
2004	4	56	1	55	1,146
		56		48	
		$\bar{x}_{\text{геом}} =$	1,022		1,03

2°. *Спартак*

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	2	59	1,017	50	0,833
2006	2	58	1,036	60	1,277
2005	2	56	1,4	47	1,093
2004	8	40	1,11	43	1,105
		36		38	
		$\bar{x}_{\text{геом}} =$	1,268		1,065

3°. *ЦСКА*

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	3	53	0,914	43	0,915
2006	1	58	0,935	47	0,979

2005	1	62	1,033	48	0,906
2004	2	60	1,017	53	0,946
		59		56	
$\bar{x}_{geom} =$			0,973		0,95

4°. Москва

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	4	52	1,209	40	0,976
2006	6	43	0,86	41	1,139
2005	5	50	1,25	36	0,947
2004	9	40	1,38	38	1,25
		29		25	
$\bar{x}_{geom} =$			1,793		1,125

5°. Сатурн

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	5	45	1,216	34	1,17
2006	11	37	1,121	36	1,26
2005	11	33	0,8	23	0,62
2004	7	41	0,911	37	0,92
		45		40	
$\bar{x}_{geom} =$			0,998		0,959

6°. Динамо

Год	Место	Очки		Мячи	
		Кол-во	Динамика	Кол-во	Динамика
2007	6	41	1,21	37	1,19
2006	14	34	0,89	31	0,86
2005	8	38	1,31	36	1,33
2004	13	29	0,63	27	0,64
		46		42	
$\bar{x}_{geom} =$			0,971		0,967

Наихудший показатель среднего геометрического у ЦСКА, что, наверное, могло бы быть основанием для замены главного тренера. Это и произошло, но только спустя сезон.

Существует правило мажорантности средних, которое впервые сформулировал профессор А.Я. Боярский.

$$\bar{x}_{гарм} < \bar{x}_{геом} < \bar{x} < \bar{x}_{кв},$$

где средняя квадратическая $x_{кв} = \frac{\sum x_i^2 m_i}{\sum m_i}$ применяется для изучения вариации признака.

12.2. Показатели рассеивания

Основными характеристиками рассеивания, применяемых для оценки вариации величин относительно выборочной средней, являются дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации.

Дисперсия вычисляется как сумма квадратов разностей эмпирических данных и выборочной средней, делённой на объём выборки:

$$D = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}{n}$$

Рассчитаем дисперсию для бюджета клубов суперлиги по хоккею на 2008 г. и прыжка в высоту юных волейболистов (n=35).

$$D = \frac{(55 - 24,92)^2 + (50 - 24,92)^2 \cdot 3 + \dots + (10 - 24,92)^2 \cdot 2}{24} = 228,34 \text{ млн. \2$

При расчёте дисперсии для прыжка в высоту получили – 24,48 см².

Среднее квадратическое отклонение определяется положительным корнем квадратным из дисперсии и обозначается σ

$$\sigma = +\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 m_i}{n}}$$

Средние квадратические отклонения для нашего примера составили 15,11 млн.\$ и 4,94 см, соответственно.

Коэффициент вариации является относительной характеристикой однородности наблюдений и выражается формулой

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

Принято считать, что если V не превышает 10%, то выборка считается однородной.

Предложим использовать в спортивной практике применяемый в экономике так называемый «фондовый коэффициент» - K_{ϕ} . Он вычисляется как отношение среднего уровня 10% первых показателей к среднему уровню 10% последних. Этот коэффициент позволяет оценить плотность распределения. Будем считать, что если $K_{\phi} < 3$, то распределение плотное, то есть уровень дифференциации не высок.

Ниже в табл. 4 приведены сравнительные показатели для футбольных чемпионатов европейских стран по числу набранных очков за 2005-2008 гг. по V_x и K_{ϕ} . Хорошо видно, что наиболее плотное распределение, а соответственно и вариация рассматриваемого признака наблюдаются в чемпионатах Испании, Германии и Франции, говорящие о незначительности разрывов в набираемых очках за последние три сезона.

Таблица 4

K_{ϕ} и V_x для набранных за сезон очков Европейских чемпионатов 2005-2008 гг.

Страна	год	V_x , %	K_{ϕ}
Англия	05-06	7,84	3,8
	06-07	7,35	2,77
	07-08	8,45	3,74
Испания	05-06	6,27	2,53
	06-07	5,76	2,41
	07-08	6	2,89
Италия	05-06	7,77	3,34
	06-07	7,29	3,24
	07-08	6,86	2,57
Германия	05-06	7,33	2,54
	06-07	6,18	2,3
	07-08	6,6	2,41
Франция	05-06	5,56	2,64
	06-07	4,59	2,1
	07-08	5,57	2,55
Россия	2005	7,84	2,744
	2006	7,52	3,315
	2007	5,59	2,61

Проведение корреляционного анализа показывает высокий уровень тесноты взаимосвязи между найденными

коэффициентами $r(x; y) = 0,765$, что позволяет говорить о возможности применения фондового коэффициента в виде альтернативы коэффициенту вариации, а учитывая простоту его вычисления, такое предложение можно считать рациональным и эффективным.

12.3. Показатели формы распределения

Центральный момент третьего порядка $\mu_3 = \overline{(x_i - \bar{x})^3}$ используется при исчислении показателя **асимметрии** распределения. Для того чтобы показатель асимметрии не зависел от масштаба, выбранного при измерении варианта, вводят безразмерную характеристику – **коэффициент асимметрии** (нормированный момент третьего порядка):

$$r_3 = \frac{\mu_3}{\sigma^3}.$$

При симметричном распределении варианты, равноудаленные от \bar{x} , имеют одинаковую частоту, поэтому $\mu_3 = 0$, а следовательно, и $r_3 = 0$. Если $r_3 < 0$, то в вариационном ряду преобладают варианты, которые меньше, чем средняя. Таким образом, ряд отрицательно асимметричен (или с левосторонней скошенностью – более длинная ветвь влево). Положительная асимметрия характеризуется значением $r_3 > 0$ (правосторонняя скошенность (см. рис.22))

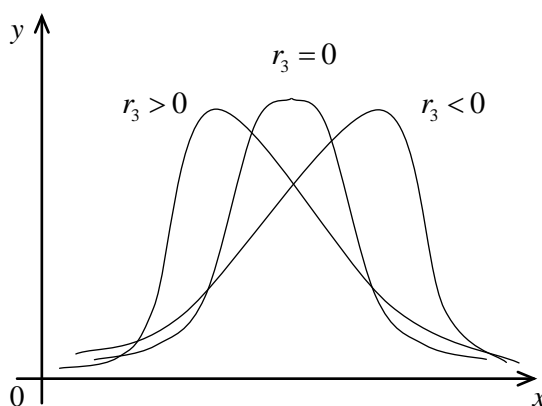


Рис. 22. Асимметрия распределения

Крутизна (заостренность) графика распределения характеризуется нормированным моментом четвертого порядка:

$$r_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} = \frac{\overline{(x_i - \bar{x})^4}}{\sigma^4}.$$

Для нормального распределения $\frac{\mu_4}{\sigma^4} = 3$, поэтому для оценки крутизны данного распределения в сравнении с нормальным вычисляется эксцесс распределения

$$Ex = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3.$$

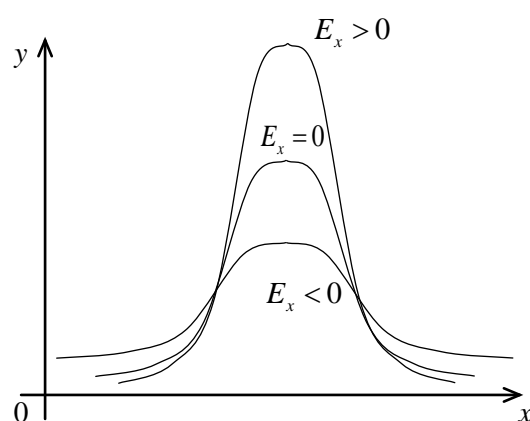


Рис. 23. Эксцесс распределения

Покажем это на примере метража пробегания игроков различного амплуа и команд в целом, показанных в играх (n=52) Чемпионата Европы по футболу 2008 г.

Таблица 5

Показатели коэффициента асимметрии и эксцесса

Пробег	\bar{x}	σ	r_3	Ex
Команда в целом, м	11606,3	10221,8	2	3,4
Нападающие, м	23374,6	7140,8	0,0	-0,2
Полузащитники, м	45038,5	12969,0	0,33	-0,3
Защитники, м	38484,3	11443,7	-0,89	1,9

Из представленных результатов (см. табл. 5) можно заключить, что по коэффициенту асимметрии в двух случаях из четырёх (пробег игроков команды в целом и полузащитников)

преобладают варианты большие, чем средняя, то есть скошенность правосторонняя. В одном случае (пробег защитников) – меньшие, чем средняя, и скошенность левосторонняя, а в перемещениях нападающих наблюдаем симметричное распределение.

Представленные расчёты позволяют говорить о характере отклонений генеральной совокупности, из которой взяты наши примеры, и проверить гипотезу о нормальности её распределения. Это в свою очередь способствует выбору соответствующих (параметрических или непараметрических) методов обработки результатов.

В качестве показателя асимметрии применяется и **коэффициент асимметрии Пирсона** представляющий собой отношения разности между выборочной средней и модой к среднему квадратическому отклонению:

$$K_a = \frac{\bar{x} - M_o}{\sigma}$$

Если $K_a > 0$, скошенность правосторонняя (как и для r_3)

$K_a < 0$ – левосторонняя,

$K_a = 0$ – вариационный ряд симметричен.

Рассмотрим достижения «Спартака» по числу набранных очков за 16 сезонов.

$$\bar{x} = \frac{922}{16} \approx 57,625$$

x	36	40	43	50	53	55	56	58	59	60	63	70	72	73	75
m	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

$$M_o = 59$$

$$\bar{x} - M_o = 57,6 - 59 = -1,4 < 0 - \text{асимметрия левосторонняя.}$$

Сравним с достижениями «Москвы» с 2001 по 2007 гг.:

x	28	29	31	40	43	50	52
m	1	1	1	1	1	1	1

$$\bar{x} = 39$$

$$M_o = 40$$

$\bar{x} - M_o = 39 - 40 = -1 < 0$ и асимметрия тоже левосторонняя.

Итоги сезона в Германии 2006-2007

$$\bar{x} = \frac{839}{18} \approx 46,61$$

$$M_o = 44 \text{ (9-10 места из 18)}$$

$\bar{x} - M_o = 46,61 - 44 = 2,61 > 0$ - скошенность правосторонняя, следовательно, в сторону сильных клубов.

Итоги сезона в России. 2006 год

$$\bar{x} = \frac{644}{16} \approx 40,25$$

$$M_o = 41 \text{ (8-9 место)}$$

$\bar{x} - M_o = 40,25 - 41 = -0,75 < 0$ - скошенность левосторонняя в сторону слабых.

Италия 2006-2007

$$\bar{x} = \frac{1026}{20} \approx 51,3$$

$$M_o = 46 \text{ (10 место)}$$

$\bar{x} - M_o = 51,3 - 46 = 5,3 > 0$ - скошенность правосторонняя.

Испания 2006-2007

$$\bar{x} = \frac{1042}{20} \approx 52,1$$

$$M_o = 50 \text{ (10 место)}$$

$\bar{x} - M_o = 52,1 - 50 = 2,1 > 0$ - скошенность правосторонняя.

Англия 2006-2007

$$\bar{x} = \frac{1042}{20} \approx 52,1$$

$$M_o = 52 \text{ (10 место)}$$

$\bar{x} - M_o = 52,1 - 52 = 0$ - симметричны.

Россия 2005

$$\bar{x} = \frac{651}{16} \approx 40,7$$

$$M_o = 38 \text{ (8-9 место)}$$

$$\bar{x} - M_o = 40,7 - 38 > 0 - \text{скошенность правосторонняя.}$$

Россия 2004

$$\bar{x} = \frac{651}{16} \approx 40,7$$

$$M_o = 40 \text{ (8-9 место)}$$

$$\bar{x} - M_o = 40,7 - 40 = 0,7 \approx 0 - \text{симметричны.}$$

Россия 2003

$$\bar{x} = \frac{657}{16} \approx 41,06$$

$$M_o = 43 \text{ или } 42 \text{ (8-9 место)}$$

$$\bar{x} - M_o = 41,06 - 42,5 = -1,5 < 0 - \text{скошенность левосторонняя.}$$

В данном случае коэффициент асимметрии Пирсона является простым инструментом определения преобладания в первенстве более сильных или более слабых клубов.

§13. Нормальное распределение в спорте

В начале XIX в. нормальное распределение затмило собой все остальные, поскольку в работах Гаусса и Лежандра утверждался нормальный закон распределения ошибок наблюдений. Точная форма нормального распределения (характерная «колоколообразная кривая») определяется только двумя параметрами: выборочным средним и стандартным отклонением.

Нормальный закон распределения (или распределение Гаусса) задается следующей дифференциальной функцией:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \text{ где } a, \sigma - \text{параметры.}$$

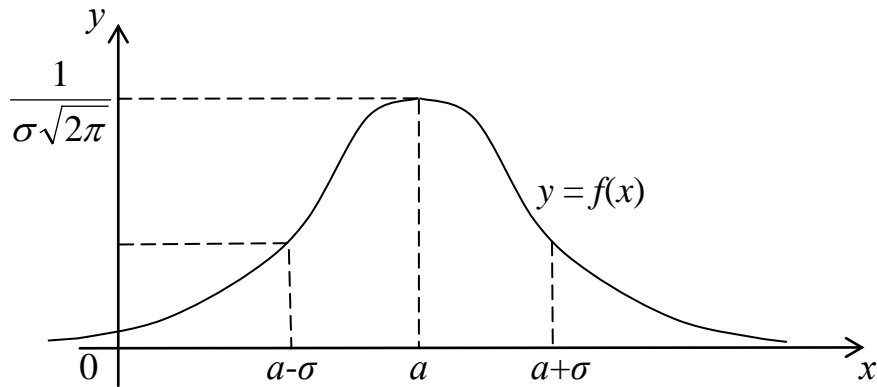


Рис. 24. Кривая нормального распределения

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1, f(a) - \text{max}$$

$x_1 = a - \sigma, x_2 = a + \sigma$ – точки перегиба.

В математической статистике фундаментальное значение имеет так называемое правило трёх сигм.

Правило трех сигм.

Найдем вероятность того, что распределенная нормально случайная величина x находится на промежутке $]\alpha, \beta[$.

$$P\{\alpha < x < \beta\} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \left. \frac{x-a}{\sigma} = t \right|_{dx=\sigma dt} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right),$$

где Φ – табличная функция Лапласа.

$$P\{a - \sigma < x < a + \sigma\} = 2\Phi(1) \approx 2 \cdot 0,341 = 0,682;$$

$$P\{a - 2\sigma < x < a + 2\sigma\} = 2\Phi(2) \approx 2 \cdot 0,477 = 0,954;$$

$$P\{a - 3\sigma < x < a + 3\sigma\} = 2\Phi(3) \approx 2 \cdot 0,499 = 0,998,$$

То есть можно считать практически достоверным, что случайная величина, распределенная по нормальному закону, находится на интервале $]\alpha-3\sigma, \alpha + 3\sigma[$.

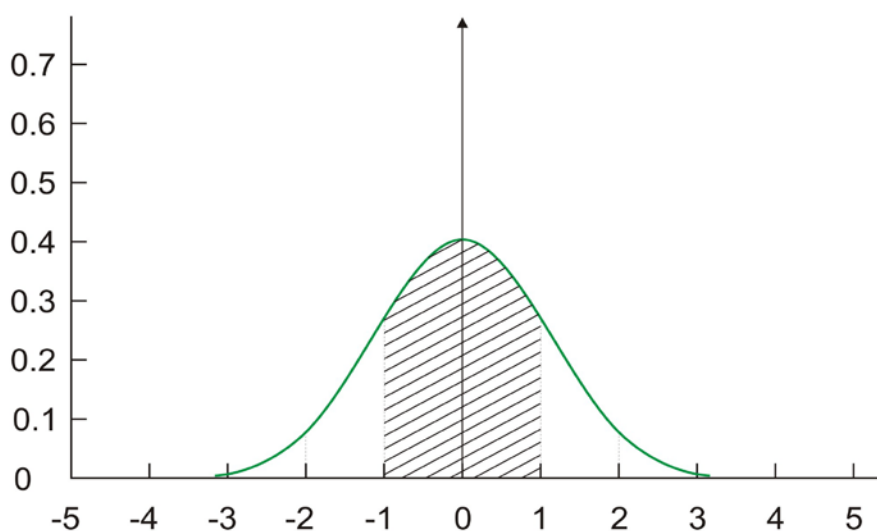


Рис. 25. Кривая нормированного распределения

На данном графике по оси абсцисс представлено так называемое нормированное (стандартизированное) отклонение

$$t = \frac{x - a}{\sigma}, \text{ а по оси ординат - плотности распределения: } y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

Параметры нормированного отклонения $a = 0, \sigma = 1$.

Особенности кривой нормального распределения заключаются в следующем:

- кривая имеет симметричное распределение относительно выборочной средней, причём $\bar{x} = Mo = Me$;
- кривая асимптотически приближается к оси абсцисс;
- криволинейная площадь под кривой, ограниченная ординатами $\bar{x} \pm \sigma$, равна 0,683 (заштрихованная область), то есть 68,3% всех исследуемых единиц отклоняется от средней арифметической не более чем на 1 стандартное отклонение. В промежутке от $\bar{x} - 2\sigma$ до $\bar{x} + 2\sigma$ находится 95,4% единиц совокупности, а в промежутке от $\bar{x} - 3\sigma$ до $\bar{x} + 3\sigma$ – 99,8% наблюдений.

Для установления вида эмпирического распределения сравнивают наблюдаемые и теоретические (вычисленные в предположении нормального распределения) частоты.

Порядок расчёта теоретических частот распределения.

1. Находим выборочную среднюю (\bar{x}) вариационного ряда и стандартное отклонение (σ):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i}, \text{ и } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum m_i}}$$

2. Находим нормированное отклонение каждого варианта

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}.$$

3. По таблице распределения функции φ находим значения $\varphi(t)$. Причём найденные значения должны всегда быть положительными.

4. Вычисляем теоретические частоты по формуле:

$$m' = \frac{nh_k}{\sigma} \varphi(t), \text{ где } n\text{-объём выборки, а } h_k\text{- ширина интервала.}$$

Покажем порядок расчёта теоретических частот распределения m' на тестировании (по Абалакову) выпрыгивания вверх волейболистов.

Диапазоны	Эмпир. частоты m_i	x_i	$m_i x_i$	$(x_i - \bar{x})^2 m_i$	t	$\varphi(t)$	m'_i	$\approx m'_i$
37-41	1	39,5	39,5	139,24	2,305	0,0277	0,75763	1
41-45	3	43,5	130,5	182,52	1,524	0,1257	3,43805	3
45-49	8	47,5	380	115,52	0,742	0,3034	8,29837	8
49-53	12	51,5	618	0,48	0,039	0,3986	10,9022	11
53-57	6	54,5	327	61,44	0,625	0,3271	8,94659	9
57-61	4	59,5	238	268,96	1,602	0,1109	3,03326	3
61-65	1	63,5	63,5	148,84	2,383	0,0235	0,64276	1
	35		1796,5	917				36

Разница в сумме теоретических и эмпирических частот образовалась за счёт округления полученных величин.

§14. Метод доверительных интервалов

Точечные оценки дают приближённое значение неизвестного параметра. Если известен закон распределения оценки или её дисперсия, то можно указать пределы, в которых с большой вероятностью находится неизвестное значение параметра.

Доверительным называется **интервал**, который с заданной надёжностью α покрывает оцениваемый параметр.

Для оценки математического ожидания a случайной величины X , распределенной по нормальному закону, при известном среднем квадратическом отклонении σ служит доверительный интервал $\bar{x} - t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$,

где $t \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \delta$ – точность оценки, n – объем выборки, \bar{x} – выборочное среднее, t – аргумент функции Лапласа, при котором $\Phi(t) = \frac{\alpha}{2}$.

Если среднее квадратическое отклонение σ неизвестно, то для оценки $M[X]=a$ служит доверительный интервал

$$\bar{x} - t_{\alpha} \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t_{\alpha} \frac{\bar{s}}{\sqrt{n}},$$

где t_{α} находится в таблице по заданным n и α , а вместо \bar{s} часто можно подставить любую из оценок

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}, \quad \bar{s} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}$$

– исправленное среднеквадратическое, статистическое среднеквадратическое отклонения соответственно. При увеличении n обе оценки s и \bar{s} будут различаться сколь угодно мало и будут сходиться по вероятностям к одной и той же величине σ .

Заметим, что доверительный интервал зависит от объёма выборки и дисперсии наблюдений. Увеличение объёма выборки делает оценку среднего более надёжной. Увеличение разброса наблюдаемых значений уменьшает надёжность оценки. Вычисление доверительных интервалов основывается на предположении о нормальности наблюдаемых величин. Если это предположение не выполнено, то оценка может оказаться ненадёжной. При увеличении объёма выборки качество оценки улучшается и без предположения нормальности выборки.

Обычно, в качестве доверительных вероятностей выбирают значения 0,95; 0,99; 0,999. Выбор той или иной доверительной вероятности производится исследователем исходя из практических соображений о той мере надёжности, с какой делаются выводы о генеральных параметрах. Доверительная вероятность 0,95 считается достаточной в научных исследованиях в области физической культуры и спорта.

Покажем это на примере группы футболистов по результатам прыжка вверх ($n_1=12$).

x_i	47	54	55	56	58	59	60	62	64	68
m_i	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1

Найдем доверительный интервал для оценок с надежностью 0,9 и 0,95.

Вычисленная выборочная средняя равна $\bar{x} = 58,8$ см, статистическое среднеквадратическое отклонение:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i} = \sqrt{\frac{1}{12} [(-11,8)^2 \cdot 1 + (-4,8)^2 + \dots + 3,2^2 \cdot 2 + 9,2^2 \cdot 1]} \approx 5,3$$

Из таблицы приложения 5 находим, что $t_{0,9} = 1,78$, $t_{0,95} = 2,18$. Подставляя полученные результаты в формулу, получаем доверительный интервал: $55,9 < a < 61,6$ и $55,2 < a < 62,3$, для доверительной вероятности 0,9 и 0,95 соответственно.

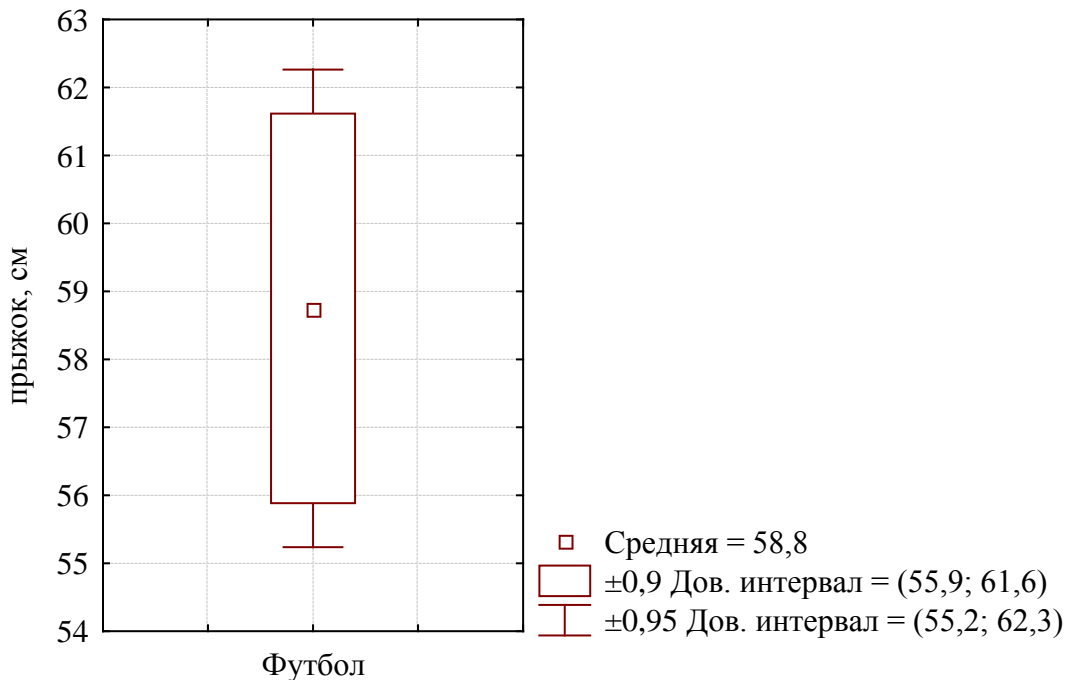


Рис. 26. Доверительные интервалы для групп юных футболистов

Интервал, в котором с заданной доверительной вероятностью находится выборочное среднее генеральной совокупности \bar{x} , называется *доверительным интервалом*. Кроме того, в математической статистике существует некоторое малое число α , значение которого предполагает вероятность того, что x выходит за границы доверительного интервала. В соответствии с принятыми доверительными вероятностями, $\alpha_1 = (1 - 0,95) = 0,05$; $\alpha_2 = (1 - 0,99) = 0,01$; $\alpha_3 = (1 - 0,999) = 0,001$.

Глава IV. Статистические гипотезы

На разных этапах статистического исследования возникает необходимость в формулировании и экспериментальной проверке некоторых предположительных утверждений (гипотез). *Статистической называют гипотезу* о виде неизвестного распределения или о параметрах известных распределений. Выдвигается основная (нулевая) гипотеза H_0 и проверяется, не противоречит ли она имеющимся эмпирическим данным. *Конкурирующей* (альтернативной) называют *гипотезу* H_1 , которая противоречит нулевой.

В результате статистической проверки гипотезы могут быть допущены ошибки двух родов. Ошибка первого рода состоит в том, что будет отвергнута правильная гипотеза, хотя на самом деле она верна. Вероятность совершить такую ошибку обозначают α и называют ее уровнем значимости. Ошибка второго рода состоит в том, что будет принята неправильная гипотеза, вероятность которой обозначают β , а мощностью критерия является вероятность $1 - \beta$.

Процедура обоснованного сопоставления высказанной гипотезы с имеющейся выборки осуществляется с помощью того или иного статистического критерия и называется *статистической проверкой гипотез*. Под критической областью понимают совокупность значений критерия, при которых нулевую гипотезу H_0 отвергают. Критическую область при заданном уровне значимости следует строить так, чтобы мощность критерия была максимальной, а уровень значимости – наименьшим.

§15. Статистические гипотезы и их проверка

Поскольку все предположения о характере того или иного распределения – это гипотезы, то они должны быть подвергнуты статистической проверке с помощью так называемых **критериев согласия**. Критерии согласия дают возможность установить, когда расхождения между двумя эмпирическими или теоретическими и эмпирическими частотами следует признать

несущественными (случайными), а когда – существенными (неслучайными).

Статистические критерии проверки гипотез разнообразны, но у них единая логическая схема построения, которая представлена на рис. 27.

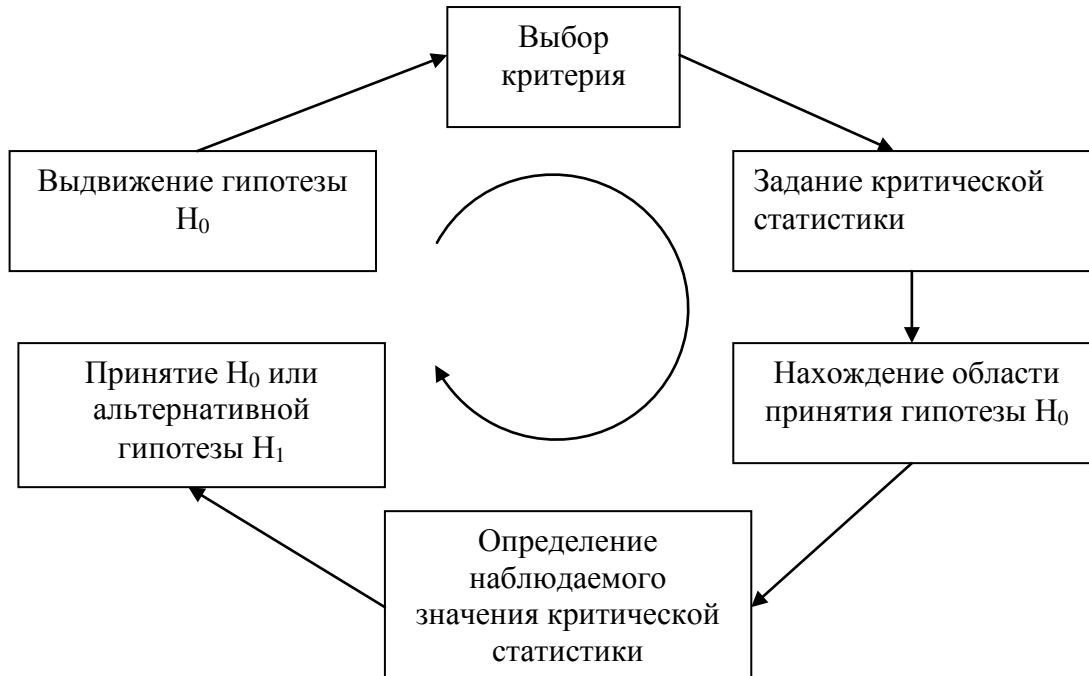


Рис. 27. Схема построения проверки статистических гипотез

Существуют два типа критериев согласия – параметрические и непараметрические.

§16. Параметрические критерии согласия

Параметрические критерии позволяют оценить различия по одному из параметров (средних, дисперсий и т. д.) и относительно более трудоёмки при вычислениях.

16.1 t -критерий Стьюдента

Наиболее распространённым параметрическим критерием является t -критерий Стьюдента (псевдоним У. Госсета). Проверка гипотезы о разности двух средних – одна из часто встречающихся процедур в исследовательской работе.

Уровень значимости t -критерия равен вероятности ошибочно отвергнуть гипотезу о равенстве средних двух

выборок, когда в действительности эта гипотеза имеет место. Иными словами, он равен вероятности ошибки принять гипотезу о неравенстве средних, когда в действительности средние равны.

Алгоритм применения t-критерия Стьюдента

1. Записать вариационный ряд результатов X экспериментальной группы.
2. Записать вариационный ряд результатов Y контрольной группы.
3. Найти выборочные средние двух выборок \bar{x} и \bar{y} .
4. Найти выборочные дисперсии S_x^2 и S_y^2 .
5. Вычислить эмпирическое значение критической статистики

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_x^2 + (n_2 - 1)S_y^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}$$

6. Определить по таблице приложения 5 критическое значение $t_{\text{кр}}(\alpha, n_1 + n_2 - 2)$ для соответствующего уровня значимости α и данного числа степеней свободы $r = n_1 + n_2 - 2$.

Если $t_{\text{эмп}} \geq t_{\text{кр}}$, то различия между средними значениями экспериментальной и контрольной групп существенны на данном уровне значимости.

В целях корректности использования t-критерия на выборках проверяют выполняемость следующих требований:

1. Наблюдения в каждой из рассматриваемых групп взяты случайным образом из одной и той же генеральной совокупности (например, спортсмены одной квалификации или дети одного возраста и др.).

2. Наблюдения имеют нормальное распределение (оцениваемое, например, по критерию ² Пирсона или при небольшом числе наблюдений - по критерию W Шапиро-Уилка), и если хотя бы для одной из групп отвергается гипотеза о нормальности распределения, то лучше применить непараметрический критерий. Справедливости ради следует отметить, что некоторые авторы [6] указывают на то, что t-критерий устойчив к отклонениям от нормальности.

3. Дисперсии генеральных выборок должны быть равны (проверка, например, по F-критерию Фишера $F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$, причём в числитель всегда ставится большая дисперсия, а в знаменатель - меньшая).

Приведём расчёты для сравнения групп ($n_1=n_2=12$) юных спортсменов-волейболистов и футболистов 1992 г. р. по показателям работоспособности согласно тесту $PWC_{170}/кг$ массы тела.

№	волейбол		футбол	
	ФИО	$PWC_{170}/кг$	ФИО	$PWC_{170}/кг$
1	А. Владислав	21,5	Б. Денис	20,0
2	В. Леонид	17,3	Б. Максим	23,7
3	Е. Алексей	18,2	В. Кирилл	17,1
4	К. Дмитрий	19,0	Г. Илья	22,5
5	К. Николай	22,3	Ж. Роман	23,8
6	К. Константин	17,9	К. Александр	21,8
7	Р. Андрей	19,0	М. Сергей	24,3
8	Р. Владимир	17,1	О. Алексей	20,4
9	Ш. Кирилл	20,2	П. Олег	20,6
10	К. Евгений	21,1	С. Илья	21,6
11	М. Егор	24,8	Ш. Дмитрий	23,2
12	П. Илья	19,6	Щ. Артём	19,3
	\bar{x}	19,8		21,5
	σ^2	5,12		4,55

Находим выборочные средние

$$\bar{x} = \frac{1}{12} (21,5 + 17,3 + 18,2 + 2 \cdot 19,0 + \dots + 24,8 + 19,6) \approx 19,8;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{12} (20,0 + 23,7 + 17,1 + \dots + 21,6 + 19,3) \approx 21,5;$$

$$\text{и дисперсии } S_x^2 = D_x \approx 5,12, S_y^2 = D_y \approx 4,55.$$

Условия для проведения вычислений t-критерия соблюдены. Выборка взята из одной генеральной совокупности (возраст испытуемых – 17 лет) и имеет нормальное распределение (пример расчета по критерию Шапиро-Уилка см. ниже). Дисперсии сравниваемых выборок равны (по критерию F Фишера).

$$F_{\text{эмп}} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{5,12}{4,55} = 1,13; F_{\text{эмп}} < F_{\text{крит}} = 2,82$$

Вычисляем $t_{\text{эмп}}$:

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|19,8 - 21,5|}{\sqrt{\frac{(12-1)5,12 + (12-1)4,55}{24-2}}} \times \sqrt{\frac{12^2}{24}} = \frac{1,7}{\sqrt{\frac{106,37}{22}}} \times \sqrt{6} \approx 1,88$$

$t_{\text{эмп}} = 1,88 < t_{\text{крит}} = 2,07$, таким образом различия в средних значениях работоспособности не существенны на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

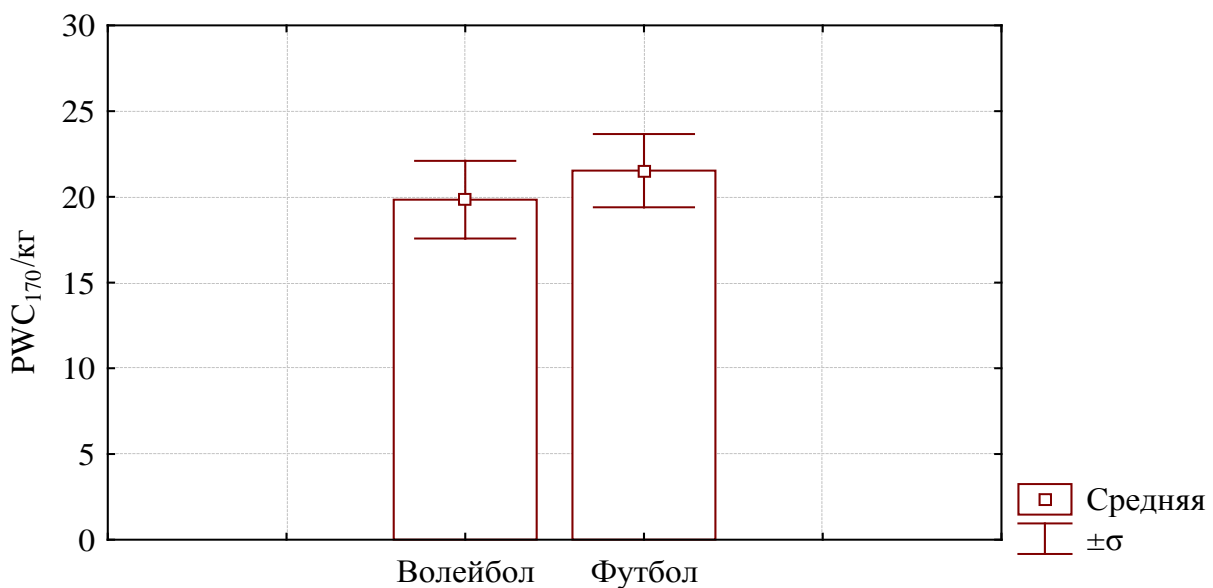


Рис. 28. Диаграмма показателей волейболистов и футболистов по тесту $PWC_{170}/кг$

Рассмотрим следующий пример. Для анализа возьмем время простой двигательной реакции (ДР) футболистов 9 и 14-летнего возраста ($n=20$ и $n=12$, соответственно).

Вычисляем выборочные средние $\bar{x} = 373 \text{мс}$; $\bar{y} = 257,3 \text{мс}$ и дисперсии $D_x \approx 1316,8 \text{мс}$, $D_y \approx 642,8 \text{мс}$. Дисперсии значимо не отличаются $F_{\text{эмп}} = 2,04 < F_{\text{крит}} = 2,65$.

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|373 - 257,3|}{\sqrt{\frac{(20-1)1316,8 + (12-1)642,8}{32-2}}} \times \sqrt{\frac{20 \cdot 12}{32}} \approx 9,7$$

Здесь величина $t_{\text{эмп}} = 9,7 > t_{\text{крит}}(0,01) = 2,75$. Таким образом, время реакции значимо отличается у футболистов 9 и 14-летнего возраста.

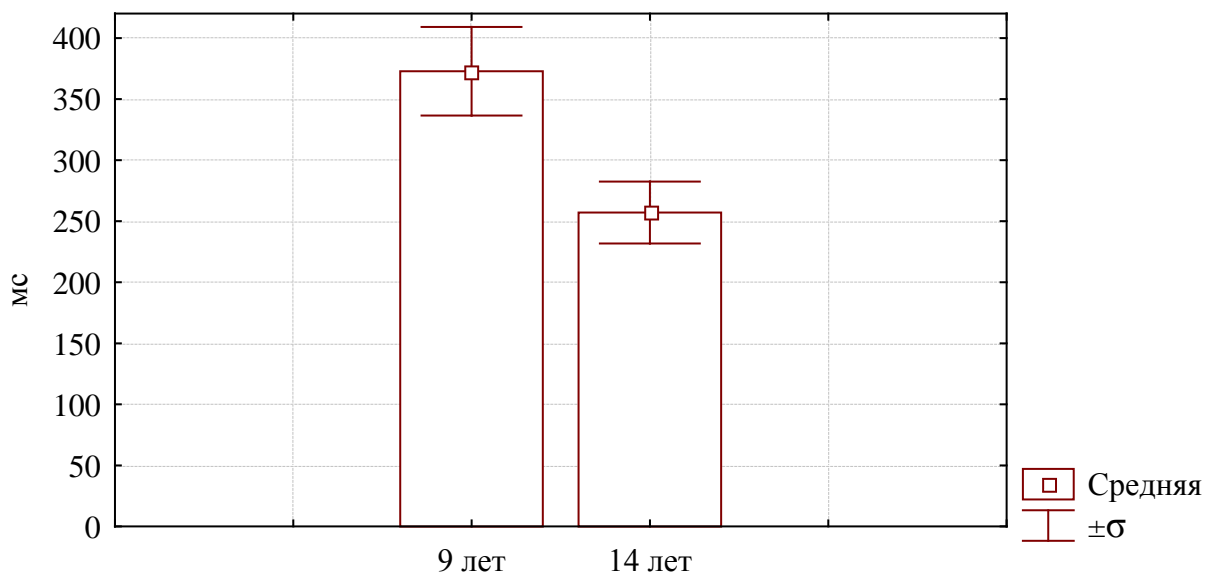


Рис. 29. Диаграмма показателей футболистов по тесту ДР.

16.2 Критерий Крамера-Уэлча

В педагогике иногда t-критерий Стьюдента заменяют на более простой критерий Крамера-Уэлча. Эмпирическое значение данного критерия рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{эмп}} = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{n_1 \cdot D_x + n_2 \cdot D_y}} \cdot \sqrt{n_1 \cdot n_2}$$

Приведём расчёты для представленного выше примера.

$$T_{\text{эмп}} = \frac{|19,8 - 21,5|}{\sqrt{10 \times 5,12 + 10 \times 4,55}} \cdot \sqrt{10 \cdot 10} = \frac{17}{\sqrt{96,7}} \approx 1,73$$

Заметим, что $T_{\text{кр}}(0,05) = t_{\text{кр}}(0,05; +\infty) = 1,96$. Поскольку $T_{\text{эмп}} = 1,73 < 1,96 = T_{\text{кр}}(0,05)$, то и по критерию Крамера-Уэлча

показатели работоспособности между группами футболистов значимо не отличаются.

Аналогичную процедуру проведём для расчёта значимости отличий в пробеге полузащитников выигравшей и проигравшей команд на Евро-2008 по футболу.

$$T_{эмн} = \frac{|46354 - 42602|}{\sqrt{21 \times 12199^2 + 21 \times 12169^2}} \cdot \sqrt{21 \cdot 21} = \frac{3752}{\sqrt{6234903402}} \cdot 21 = \frac{78792}{78961} \approx 0,998$$

Так как $T_{эмн} = 0,998 < 1,96 = T_{кр}(0,05)$, то по критерию Крамера-Уэлча показатели футболистов значимо не отличаются.

§17. Непараметрические критерии в спорте

Непараметрические критерии не содержат расчёта параметров распределения и основаны на оперировании частотами или рангами. Непараметрические критерии, как правило, менее сложны в вычислениях и могут быть измерены в любой шкале, начиная от шкалы наименований.

17.1. Критерий согласия Пирсона

Критерий Пирсона χ^2 (хи-квадрат) – один из основных непараметрических критериев согласия. Критерий предложен математиком Карлом Пирсоном (1857-1936) для сопоставления эмпирического распределения признака с теоретическим (равномерным, показательным, нормальным) или для сопоставления двух эмпирических распределений одного и того же признака.

В качестве критерия проверки нулевой гипотезы рассматриваем случайную величину

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$$

где k – число групп, на которые разбито эмпирическое распределение; m_i – наблюдаемая частота в i -й группе; m_i' –

теоретическая (или вторая эмпирическая) частота, рассчитанная по предполагаемому распределению.

Для оценки существенности расчетное значение $\chi_{эмп}^2$ сравнивается с табличным критическим значением $\chi_{кр}^2(\alpha; k-1)$. Если $\chi_{эмп}^2 \leq \chi_{кр}^2$, то расхождения между распределениями несущественны.

Используя критерий согласия χ^2 , необходимо чтобы объемы исследуемых выборок были равны ($n_1 = n_2$) и были достаточно большими ($n \geq 30$), при этом численность каждой группы должна быть не менее 5.

Алгоритм применения критерия χ^2 Пирсона

1. Занести в таблицу наименование разрядов и эмпирические частоты (данные по экспериментальной группе).
2. Во 2-й столбец записать теоретические частоты (данные по контрольной группе).
3. Проверить равенство сумм частот $\sum m_i = \sum m'_i$ (или их уравнивать).
4. Подсчитать разности между эмпирическими и теоретическими частотами (экспериментальной и контрольной группами) по каждой строке и записать их в 3-й столбец.
5. Возвести в квадрат полученные разности и записать их в 4-й столбец.
6. Разделить полученные квадраты разностей на теоретические частоты (данные по контрольной группе) и записать в 5-й столбец.
7. Просуммировать значения 5-го столбца, обозначив ее χ^2
8. Определить по таблице приложения 4 критическое значение для соответствующего уровня значимости α и данного числа степеней свободы $r = m-1$ (m – количество разрядов признака, то есть строк в таблице).

Если $\chi_{эмп}^2 \geq \chi_{крит}^2$, то расхождения между распределениями существенны на данном уровне значимости.

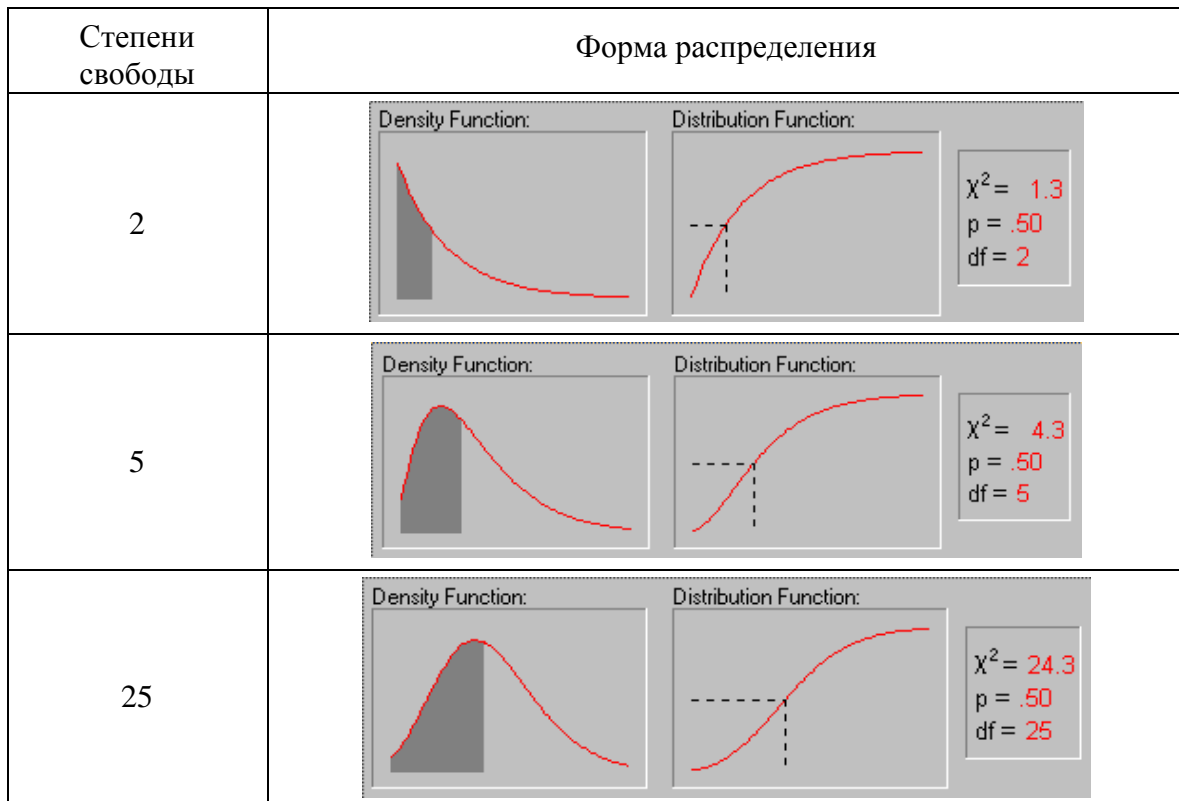


Рис. 30. Изменение числа статистики χ^2 в зависимости от числа степеней свободы (df)

Форма χ^2 распределения определяется числом степеней свободы, а величина критерия зависит от наполненности групп (клеток таблицы). Поэтому при одном и том же уровне значимости критическое значение будет разным для разного числа степеней свободы (см. рис. ниже).

Сравним итоги последних двух первенств по футболу в Испании и в Англии, в каждом из которых выступило по 20 клубов. Сравнение проведем по пяти группам команд в зависимости от набранных очков.

Число набранных очков	Англия	Испания	$(m_i - m_i')^2$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
	m_i	m_i'		
до 35	6	4	4	1
36-45	9	11	4	0,36
46-55	10	11	1	0,09
56-65	7	5	4	0,8
больше 66	8	9	1	0,11
				$\chi^2_{эмл} = 2,36$

Поскольку $\chi_{эмт}^2 = 2,36 \leq 9,5 = \chi_{кр}^2(0,05;5)$, то нет оснований отвергать нулевую гипотезу об одинаковом распределении набранных очков в футбольных первенствах Англии и Испании.

17.2. Критерий Романовского

Критерий Романовского c основан на использовании критерия χ^2 Пирсона, где по найденному значению χ^2 и числу степеней свободы ν вычисляется число:

$$c = \frac{|\chi^2 - \nu|}{\sqrt{2\nu}}.$$

Он удобен при отсутствии таблиц для критических значений χ^2 . Если $c < 3$, то расхождения между распределениями случайны.

Используем критерий Романовского для предыдущего примера, в котором $\chi_{эмт}^2 = 2,36$. Тогда $c = \frac{|2,36 - 4|}{\sqrt{2 \cdot 4}} = \frac{1,64}{2\sqrt{2}} \approx 0,58 < 3$ и расхождения между результатами двух футбольных первенств случайны, что свидетельствует об общих закономерностях в известных чемпионатах.

Эффективность следующих непараметрических критериев покажем на сравнении технико-тактических действий (ТТД) футболистов на последнем чемпионате Европы 2008 г. Заметим, что первую методику ТТД предложил в 1974 г. известный тренер Юрий Морозов, оценивая её только по точности. К.И. Бесков использовал другой термин: эффективность ТТД. Кто-то из специалистов главным критерием действия игрока считал надёжность. Вообще проблема унификации метода существовала всегда. Лобановский вел подсчет по 10 видам ТТД; если команда за матч выполнит 800-1000 ТТД, значит, считал он, должна победить. Кто-то анализировал действия игроков по 15 параметрам, кто-то по 18-ти. Все, конечно, считали передачи, но опять-таки по-разному. У одних короткие передачи были до пяти метров, у других - до 10-ти.

Впервые стали считать двигательную активность игроков еще в 80-е годы XX в. японцы. Снимали матч на камеры, на игроков клеились маркеры - на разные части тела, чтобы их различать в любой точке поля. Но все равно во время единоборств все смешивалось, футболисты иногда «терялись» из

вида. Сейчас от видеокамер и компьютеров никуда не денешься. Кафедра МГАФК в 2004 году совместно с Институтом проблем управления и автоматизации Академии наук разработали свою методику. Матч снимают две видеокамеры (каждая - свою половину поля). Затем делается мультимедийный фильм: на экране двигаются не игроки, а их символы - кружочки. Потом компьютерная программа делает анализ ТТД - характер перемещений, скоростей.

Самое главное для анализа - это скоростная работа, ведь футбол - это не гладкий бег, а череда рывков. Кто-то может делать рывки с минутным интервалом, а кому-то, чтобы перевести дух и пяти минут не хватит. Вот и выпадают из игры. Но по километражу у них все в норме! Впечатляюще выглядят ТТД футболистов сборной России в дополнительное время четвертьфинала чемпионата Европы 2008 г. (Россия – Голландия). По физиологическим законам количество и качество передач футболистов должно упасть, но за тридцать последних минут наши ребята сделали передач больше и качественнее, чем за весь второй тайм! Они превзошли по этому показателю и второй очень удачный тайм в матче со шведами.

Для лучшего анализа и сравнения эффективности ТТД футболистов и команд используем классические вероятностно-статистические критерии согласия, описывая которые достаточно подробно с учебной целью, покажем их предназначение и алгоритмы применения.

17.3. Критерий χ_r^2 Фридмана

Критерий применяется для сопоставления показателей, измеренных в трех и более условиях на одной и той же выборке испытуемых. Критерий позволяет установить, что величины показателей от условия к условию изменяются, но при этом не указывает на направление изменений. Нулевая гипотеза $H_0 = \{\text{между показателями, полученными в разных условиях, существуют лишь случайные различия}\}$.

Алгоритм

применения критерия χ_r^2 Фридмана

для сопоставления трех и более показателей испытуемых

1. Проранжировать индивидуальные значения каждого испытуемого, полученные им в 1-м, 2-м, 3-м и т. д. замерах.

2. Просуммировать ранги, проверить совпадение общей суммы рангов с расчетной.

3. Определить эмпирическое значение χ_r^2 по формуле:

$$\chi_{r\text{эмп}}^2 = \frac{12}{n \cdot c(c+1)} \sum T_j^2 - 3n(c+1),$$
 где c – количество условий, n – количество испытуемых, T_j – сумма рангов по каждому из условий.

4. Определить уровни статистической значимости для χ_r^2 , для $c=3, n \leq 9$ и $c=4, n \leq 4$ (по таблице приложения 4).

5. При большом количестве условий или испытуемых определить критические значения критерия $\chi_{кр}^2$ при данном числе степеней свободы $\nu = c - 1$.

Если $\chi_{r\text{эмп}}^2 \geq \chi_{кр}^2$, то различия статистически достоверны.

Определим при помощи критерия χ_r^2 Фридмана, существенны ли различия в показателях максимальной скорости (V_{\max}) футболистов сборной России в матчах чемпионата Европы 2008 года.

№	Игрок	Максимальная скорость в матче							
		с Испанией		с Грецией		с Швецией		с Голландией	
		V_{\max}	Ранг	V_{\max}	Ранг	V_{\max}	Ранг	V_{\max}	Ранг
1	Акинфеев	20,89	2	14,86	4	22,95	1	17,97	3
22	Анюков	27,35	2	26,01	4	29,00	1	26,97	3
8	Колодин	28,39	1	27,38	2	23,38	4	23,81	3
18	Жирков	29,36	2,5	28,42	4	29,36	2,5	31,32	1
17	Зырянов	26,17	3	28,75	1	25,35	4	28,39	2
11	Семак	28,35	1	26,06	3	26,39	2	24,07	4
20	Семшов	28,57	1	25,42	4	25,94	3	26,20	2
15	Билялетдинов	28,39	1	24,63	3	24,83	2	24,07	4
19	Павлюченко	26,24	2	24,89	3	24,53	4	28,73	1
	Суммы T_j		15,5		28		23,5		23

Вычислим эмпирическое значение χ_r^2 по формуле:

$$\chi_r^2 = \frac{12}{n \cdot c \cdot (c+1)} \cdot \sum_{j=1}^4 T_j^2 - 3 \cdot n \cdot (c+1).$$

В нашем случае

$$\chi_r^2 = \frac{12}{9 \cdot 4 \cdot (4+1)} \cdot (15,5^2 + 28^2 + 23,5^2 + 23^2) - 3 \cdot 9 \cdot (4+1) \approx 5,37.$$

По специальной таблице критических значений находим, что $\chi_r^2 = 5,37$ при $c = 4$ и $n = 9$ соответствует уровню значимости 0,07.

Поэтому нулевая гипотеза H_0 на уровне значимости $\alpha = 0,05$ принимается, что означает достаточно высокую стабильность максимальной скорости всех девяти футболистов сборной России, принявших участие в первых четырех матчах на чемпионате Европы 2008 года.

Аналогичным образом установим, существенны ли различия в количестве преодоленных метров футболистами сборной России в тех же четырех матчах на чемпионате Европы.

№	Игрок	Количество преодоленных метров в матче							
		с Испанией		с Грецией		с Швецией		с Голландией	
		м	Ранг	м	Ранг	м	Ранг	м	Ранг
1	Акинфеев	3424	4	3977	2	3891	1	3848	3
22	Анюков	10257	3	10315	2	10482	1	9656	4
8	Колодин	9085	1	8497	3	8724	2	8490	4
18	Жирков	11490	2	9977	4	11513	1	10945	3
17	Зырянов	11310	2	11237	3	11600	1	11000	4
11	Семак	11695	2	11458	3	11890	1	11272	4
20	Семшов	12632	1	11194	4	12000	2	11224	3
15	Билалетдинов	11357	3	10999	4	11731	2	12277	1
19	Павлюченко	10277	1	9887	3	10202	2	9668	4
Суммы T_j			19		28		13		30

Найдем эмпирическое значение

$$\chi_r^2 = \frac{12}{9 \cdot 4 \cdot (4+1)} \cdot (19^2 + 28^2 + 13^2 + 30^2) - 3 \cdot 9 \cdot (4+1) = 12,6,$$

что соответствует уровню значимости 0,01.

Отсюда следует, что нулевая гипотеза на уровне значимости $\alpha = 0,01$ отклоняется, и это означает существенное различие в количестве преодоленных метров футболистами сборной России в матчах чемпионата Европы.

Обратим внимание на необходимость приведения количества преодоленных метров футболистами к одной единице времени (например, 90 мин. основного времени матча), что и сделано в последних статистических данных.

Сравним максимальную скорость и количество преодоленных метров игроков сборной России в матчах

группового этапа чемпионата Европы по футболу со сборными Испании и Греции. С этой целью используем критерий Манна-Уитни, который применяется для проверки однородности двух выборок независимых случайных величин.

17.4. Критерий Манна-Уитни

Алгоритм применения критерия U Манна–Уитни (для оценки различий между двумя малыми выборками по уровню признака)

1. Перенести все данные испытуемых на индивидуальные карточки, пометив карточки 1-й выборки одним цветом, а 2-й – другим.
2. Разложить все карточки в единый ряд по степени возрастания признака и проранжировать в таком порядке.
3. Вновь разложить карточки по цвету на две группы.
4. Подсчитать сумму рангов отдельно по группам и проверить, совпадает ли общая сумма рангов с расчетной.
5. Определить большую из двух ранговых сумм T_x .

6. Вычислить значение U :

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x \cdot (n_x + 1)}{2} - T_x,$$
 где n_i - количество испытуемых в i - выборке ($i = 1, 2$), n_x - количество испытуемых в группе с большей суммой рангов.

7. Определить критическое значение $U_{кр}$ (по таблице приложения 2). Если $U_{эмп} > U_{кр}$, то H_0 принимается.

Испания – Россия

Сборная Испании					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V_{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Касильяс	3323	4	22,63	4
15	С.Рамос	10751	22	28,73	26
5	Пуйоль	9041	14	27,09	17
4	Марчена	8582	13	26,03	10,5
11	Капдевила	10187	18	27,56	21
6	Иньеста	7588	11	22,52	3
27	Касорла	3552	6	26,39	15,5
19	Сенна	11014	23	21,29	2
8	Хави	12044	12	25,99	8
21	Сильва	9902	16	24,46	5
14	Ч.Алонсо	1984	1	26,39	15,5

Сборная России					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V_{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Акинфеев	3424	5	20,89	1
22	Анюков	10257	19	27,35	19
14	Широков	10002	17	25,99	8
8	Колодин	9085	15	28,39	23,5
18	Жирков	11490	26	29,36	27
21	Сычев	5724	9	26,03	10,5
23	Быстров	3017	3	24,53	6
6	Адамов	2402	2	25,99	8
17	Зырянов	11310	24	26,17	12
11	Семак	11695	27	28,35	22
20	Семшов	8000	12	28,57	25

7	Вилья	10270	20	26,20	13	7	Торбинский	4396	7	31,32	28
9	Ф. Торрес	5928	10	27,35	19	15	Билялетдинов	11357	25	28,39	23,5
10	Фабрегас	5367	8	27,35	19	19	Павлюченко	10277	21	26,24	14
	$n_1 = 14$	$\Sigma =$	178	$\Sigma =$	178,5		$n_2 = 14$	$\Sigma =$	212	$\Sigma =$	227,5

У России оказалась большая сумма рангов как по преодоленным метрам, так и по максимальной скорости игроков (V_{\max}): 1) $T_x = 212$ и 2) $T_x = 227,5$. Вычислим эмпирические значения:

$$1) U_{\text{эм}} = 14 \cdot 14 + \frac{14 \cdot 15}{2} - 212 = 89; \quad 2) U_{\text{эм}} = 14 \cdot 14 + \frac{14 \cdot 15}{2} - 227,5 = 73,5.$$

По таблице критических значений находим $U_{\text{кр}}$ для $n_1 = n_2 = 14$ и $\alpha = 0,05$: $U_{\text{кр}}(0,05; 14; 14) = 61$. Получили, что

$$1) U_{\text{эм}} = 89 \geq 61 = U_{\text{кр}}(0,05; 14; 14), \quad 2) U_{\text{эм}} = 73,5 \geq 61 = U_{\text{кр}}(0,05; 14; 14).$$

Нулевая гипотеза о незначительном отличии количества преодоленных метров и максимальной скорости игроков сборных России и Испании принимается.

Греция – Россия

Сборная Греции						Сборная России					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V_{\max}		№	Игрок	Кол-во преодоленных		V_{\max}	
		м	ранг	м/с	ранг			м	ранг	м/с	ранг
1	Никополидис	4296	6	17,63	2	1	Акинфеев	3977	5	14,86	1
2	Сейтаридис	4483	7	21,94	4	22	Анюков	10315	21	26,01	14,5
10	Карагунис	5997	8	27,43	21	14	Игнашевич	9008	13	24,44	6
5	Деллас	9889	18	25,42	12,5	8	Колодин	8497	10	27,38	20
16	Кириакос	8926	12	25,40	11	18	Жирков	9977	19	28,42	24,5
15	Торосидис	9864	15	24,87	9	2	В.Березуцкий	668	1	21,33	2
3	Пацацоглу	10893	23	29,04	27	17	Зырянов	11237	25	28,75	26
21	Кацуранис	10680	22	28,38	23	11	Семак	11458	26	26,06	17
6	Басинас	10162	20	28,42	24,5	20	Семшов	11194	24	25,42	12,5
9	Харистеас	9877	16	26,06	17	15	Билялетдинов	8555	11	24,63	8
20	Аманатидис	9673	14	28,17	22	9	Саенко	2799	83	24,61	7
8	Яннакопулос	1588	2	23,65	5	7	Торбинский	11732	27	26,01	14,5
23	Либеропулос	6956	9	26,06	17	19	Павлюченко	9887	17	24,89	10
17	Гекас	3085	4	26,68	19						
	$n_1 = 14$	$\Sigma =$	176	$\Sigma =$	214		$n_2 = 13$	$\Sigma =$	202	$\Sigma =$	156,5

По таблице находим критическое значение для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и $n_1 = 14$, $n_2 = 13$:

$$U_{\text{кр}}(0,05; 14; 13) = 56.$$

Находим эмпирические значения критерия для попарного сравнения количества преодоленных метров и максимальной скорости игроков (V_{\max}):

1) для преодоленных метров

$$U_{\text{эмп}} = 14 \cdot 13 + \frac{13 \cdot 14}{2} - 202 = 71;$$

2) для максимальной скорости

$$U_{\text{эмп}} = 14 \cdot 13 + \frac{14 \cdot 15}{2} - 214 = 73.$$

Поскольку $U_{\text{эмп}} = 73(71) \geq 56 = U_{\text{кр}}(0,05;14;13)$, то можно сделать вывод о незначительном отличии спортивных показателей игроков сборных России и Греции, что для выступления на таком высоком европейском уровне является весьма ожидаемым.

Россия – Швеция

Сборная России					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V _{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Акинфеев	3891	4	22,95	3
22	Анюков	10482	17	29,00	23,5
4	Игнашевич	9253	12	26,96	20
8	Колодин	8724	11	23,38	4
18	Жирков	11513	23	29,36	25
17	Зырянов	11600	24	25,35	11
11	Семак	11890	25	26,39	17
20	Семшов	12000	26	25,94	12
15	Билялетдинов	8603	9	24,83	7
9	Саенко	3550	3	26,70	18,5
10	Аршавин	10505	18	30,13	26
19	Павлюченко	10202	15	24,53	6
23	Быстров	563	1	26,03	14
	$n_1 = 13$	$\Sigma =$	188	$\Sigma =$	187

Сборная Швеции					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V _{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Исакссон	4942	6	20,55	1
5	Стоор	11119	20	26,70	18,5
3	Меллберг	10175	14	26,24	15,5
4	Ханссон	10168	13	25,13	9
2	Нильссон	8368	8	28,35	22
20	Аллбек	1640	2	24,40	5
11	Элмандер	11510	22	29,00	23,5
19	Андерссон	7452	7	22,53	2
16	Келльстрем	4865	5	25,31	10
8	Свенссон	11258	21	25,10	8
9	Юнберг	10347	16	27,09	21
10	Ибрагимович	8651	10	26,24	15,5
17	Х.Ларссон	10829	19	25,99	13
	$n_2 = 13$	$\Sigma =$	163	$\Sigma =$	164

Голландия – Россия

Сборная Голландии					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V _{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Ван дер Сар	6139	6	22,35	3

Сборная России					
№	Игрок	Кол-во преодоленных		V _{max}	
		м	ранг	м/с	ранг
1	Акинфеев	5156	3	17,97	1

21	Булахруз	6209	7	27,56	19,5	22	Анюков	12843	20	26,97	17
3	Хейтинга	8533	11	26,70	16	4	Игнашевич	12291	16	22,60	5,5
2	Оойер	13031	21	28,09	21	8	Колодин	11296	14	23,81	10
4	Матейсен	12435	19	22,52	4	18	Жирков	14557	25	31,32	28
5	Бронк-хорст	13649	23	28,51	24	9	Саенко	9429	13	28,35	22
17	Де Йонг	13885	24	27,09	18	7	Торбинский	5805	5	27,56	19,5
8	Энгелаар	7090	10	24,40	13	20	Семшов	8605	12	26,20	15
20	Афеллай	7048	9	22,60	5,5	15	Билялетдинов	6957	8	24,07	11,5
18	Кейт	5325	4	28,73	26,5	11	Семак	14992	28	24,07	11,5
7	Ван Перси	2809	2	23,67	8,5	17	Зырянов	14631	26	28,39	23
23	В. дер Ваарт	14731	27	22,98	7	10	Аршавин	13564	22	26,03	14
10	Снейдер	12326	17	28,72	25	19	Павлюченко	12353	18	28,73	26,5
19	Нистелрой	12140	15	23,67	8,5	21	Сычев	1214	1	19,87	2
	$n_1 = 14$	$\Sigma =$	195	$\Sigma =$	199,5		$n_2 = 14$	$\Sigma =$	211	$\Sigma =$	206,5

У сборной России оказались лучшие показатели как по преодоленным метрам, так и по максимальной скорости в матчах со Швецией и в четвертьфинальном поединке с Голландией, о чем свидетельствуют и большие ранговые суммы $T_x = 188$ и 187 (во встрече со сборной Швеции) и $T_x = 211$ и $206,5$ (во встрече со сборной Голландии).

Тогда получаем эмпирические значения в указанных матчах чемпионата Европы по преодоленным метрам и максимальной скорости:

$$U_{эм} = 13 \cdot 13 + \frac{13 \cdot 14}{2} - 188 (187) = 72 (73);$$

$$U_{эм} = 14 \cdot 14 + \frac{14 \cdot 15}{2} - 211 (206,5) = 90 (94,5).$$

Поскольку $U_{эм} = 72(73) > 51 = U_{кр} (0,05; 13; 13)$ и $U_{эм} = 90(94,5) > 56 = U_{кр} (0,05; 14; 13)$, то отличие спортивных показателей по преодоленным метрам и скорости не были существенно лучше, чем у сборных Швеции и Голландии, и, видимо, другие количественные и качественные показатели предопределили успех нашей сборной.

17.5. Критерий Вилкоксона

Алгоритм применения Т-критерия Вилкоксона для сопоставления двух показателей испытуемых

1. Составить список испытуемых.
2. Вычислить разность между индивидуальными значениями во 2-м и 1-м замерах («после» – «до»). Определить, что будет считаться «типичным» сдвигом и сформулировать гипотезу.

3. Найти абсолютные величины разностей.
4. Проранжировать абсолютные величины разностей, начиная с меньшего значения.
5. Отметить ранги, соответствующие сдвигам в «нетипичном» направлении, подсчитать сумму этих рангов $T_{эмп} = \sum R_r$.
6. Определить критические значения $T_{кр}$ для данного n (по табл. приложения 3). Если $T_{эмп} \leq T_{кр}$, то сдвиг в «типичную» сторону по интенсивности достоверно преобладает.

Критерий применяется для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях на одной и той же выборке испытуемых. Сравним, как изменилась максимальная скорость полевых игроков сборной России в матчах ЧЕ-2008 со сборными Греции и Швеции.

Футболист	Максимальная скорость в матче		Разность	Абсолютная разность	Ранговый номер разности
	с Грецией	с Швецией			
Анюков	26,01	29,00	2,99	2,99	8
Игнашевич	24,44	26,96	2,52	2,52	7
Колодин	27,38	23,38	-4,00	4,00	10
Жирков	28,42	29,36	0,94	0,94	5
Зырянов	28,75	25,36	-3,39	3,39	9
Семак	26,06	26,39	0,33	0,33	2
Семшов	25,42	25,94	0,52	0,52	4
Билялетдинов	24,63	24,83	0,20	0,20	1
Саенко	24,61	26,70	2,09	2,09	6
Павлюченко	24,89	24,53	-0,36	0,36	3

Отметим те сдвиги, которые являются нетипичными, в данном случае – отрицательными. В таблице эти сдвиги и соответствующие показатели выделены цветом. Сумма рангов этих «редких» сдвигов $T_{эмп} = 10 + 9 + 3$ и составляет эмпирическое значение критерия T .

Определим критические значения критерия T для $n = 10$ и уровня значимости $\alpha = 0,05$ и сравним его с $T_{эмп}$:

$$T_{эмп} = 22 > 10 = T_{кр}(0,05;10)$$

и нулевая гипотеза принимается.

Сравним теперь, насколько значимо изменилось количество преодоленных метров игроков сборной России в матчах с Грецией и Швецией.

№	Игрок	Количество преодоленных метров в матче		Разность	Абсолютная разность	Ранговый номер разности
		с Грецией	с Швецией			
22	Анюков	10315	10482	167	167	3
14	Игнашевич	9008	9253	245	245	5
8	Колодин	8497	8724	227	227	4
18	Жирков	9977	11513	1536	1536	12
2	В. Березуцкий	668				
23	Быстров		563	-105	105	2
17	Зырянов	11237	11600	363	363	7
11	Семак	11458	11890	432	432	8
9	Саенко	2799	3550	751	751	9
20	Семшов	11194	12000	806	806	10
15	Билялетдинов	8555	8603	48	48	1
7	Торбинский	11732				
10	Аршавин		10505	-1227	1227	11
19	Павлюченко	9887	10202	315	315	6

Найдем сумму рангов «нетипичных» сдвигов:
 $T_{\text{эмп}} = \sum R_r = 2 + 11 = 13.$

Поскольку $T_{\text{эмп}} = 13 < 17 = T_{\text{кр}}(0,05;12)$, то нулевая гипотеза H_0 отвергается и можно утверждать, что количество преодоленных метров игроками сборной России в матчах со сборными Греции и Швеции значимо отличаются, что сказалось на качестве игры и ее результате.

Критерий Вилкоксона для сравнения максимальной скорости игроков в матчах четвертьфинала и полуфинала сборной России

№	Игрок	$\frac{1}{4}$ финала	$\frac{1}{2}$ финала	Разность	Абсолютная разность	Ранг
		Голландия	Испания			
1	Акинфеев	17,97	18,73	0,76	0,76	1
22	Анюков	26,97	24,40	-2,57	2,57	4
4	Игнашевич	22,60	25,94	3,34	3,34	5
8	Жирков	31,32	24,07	-7,25	7,25	10

17	Зырянов	28,39	24,40	-3,99	3,99	8
11	Семак	24,07	22,81	-1,26	1,26	3
20	Семшов	26,60	20,93	-5,67	5,67	9
15	Билялетдинов	24,07	22,98	-1,09	1,09	2
19	Павлюченко	28,73	25,31	-3,42	3,42	6
10	Аршавин	26,03	22,52	-3,51	3,51	7

Определим сумму рангов «редких» сдвигов $T_{эмп} = 1 + 5 = 6$ и сравним ее с $T_{кр}(0,05;10) = 10$. Поскольку $T_{эмп} = 6 < 10 = T_{кр}(0,05;10)$, то нулевая гипотеза отклоняется и снижение максимальной скорости игроков сборной России в полуфинальном матче с Испанией по сравнению с четвертьфинальным поединком со сборной Голландии является существенным.

17.6. Критерий Шапиро-Уилка

Этот критерий применяется, когда выборка содержит малое количество наблюдений ($n \leq 30$). Рассмотрим алгоритм применения этого критерия:

1. Проранжировать данные расчётной таблицы в неубывающем порядке.
2. Получить разности между крайними значениями. Например, из самого большого по значению наблюдения вычитают самое наименьшее, затем из второго по величине – второе по наименьшему значению, и т. д. Таким образом, $\Delta_k = x_{n-k+1} - x_k$
3. Полученные разности Δ_k умножить на табличные коэффициенты, находящиеся в зависимости от числа наблюдений и порядкового номера разности.
4. Находим b - сумму умножений, полученную в пункте 3.
5. Найти сумму квадратов отклонений от среднего арифметического по выборке. $SS = \sum (x_i - \bar{x})^2$
6. Рассчитать величину критерия W по формуле:

$$W = b^2 / SS$$

Если окажется что $W_{эмп.} > W_{крит.}$, то принимается нулевая гипотеза о нормальности распределения.

Рассмотрим это на примере времени простой реакции юных футболистов ($n=12$)

$t_{\text{реакц}}, \text{ мс}$	№ разности	$\Delta_k = x_{n-k+1} - x_k$	a_{nk}	$a_{nk} * \Delta_k$
223	1	308-223=85	0,5475	46,5375
225	2	286-225=61	0,3325	20,2825
236	3	277-236=41	0,2347	9,6227
237	4	271-237=34	0,1585	5,389
254	5	258-254=4	0,0922	0,3688
255	6	256-255=1	0,0303	0,0303
256	$b=82,2308$ $\bar{X} = 257,17; SS=7073,7$ $W_{\text{крит}}=0,859 < W_{\text{расч}}=9,35$			
258				
271				
277				
286				
308				
308				

Поскольку $9,35 = W_{\text{эмп}} > W_{\text{кр}} = 0,859$, поэтому нулевая гипотеза H_0 на уровне значимости $\alpha = 0,05$ принимается, и выборка имеет нормальное распределение.

Глава V. Корреляционный анализ

Понятие **корреляции** (от английского слова «correlation» – соотношение, соответствие), являющееся одним из основных понятий теории вероятностей и математической статистики, было введено Гальтоном и Пирсоном. Оно показывает особенности зависимости, при которой одному факторному признаку может соответствовать ряд значений результативного признака. Таким образом, при помощи корреляции можно определить среднюю величину результативного признака, соответствующую одному или нескольким значениям факторного признака.

§18. Корреляционная зависимость

При изучении связи между двумя случайными величинами используется корреляционный анализ. В качестве тесноты этой связи применяется коэффициент корреляции Пирсона r , который рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})n_{ij}}{\sigma_x^* \cdot \sigma_y^*},$$

где числитель представляет собой сумму произведений отклонений значений двух признаков от их выборочных средних, делённую на n , называемую **ковариацией** ($k(X, Y)$). Таким образом, коэффициент корреляции представляет собой частное от деления ковариации $k(X, Y)$ на произведение их средних квадратических отклонений.

При небольшом количестве экспериментальных данных $k(X, Y)$ удобно находить полный вес ковариационного графа (см. рис. 31):

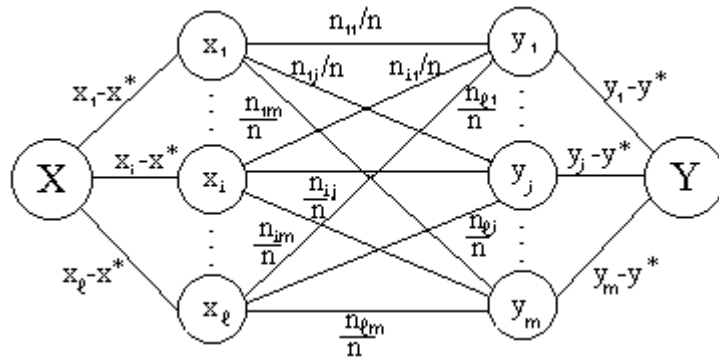


Рис. 31. Ковариационный граф

Коэффициент корреляции может принимать значения от -1 до +1. При отрицательных значениях связь является обратной, а при положительных значениях – прямой. Нулевое значение коэффициента означает отсутствие линейной зависимости между X и Y, в то же время оно не всегда означает, что корреляции нет, а может свидетельствовать только о нелинейной зависимости.

Найдём выборочный коэффициент корреляции набранных очков в играх дома и на выезде между командами дивизионов Харламова и Чернышева, возглавляемых финалистами розыгрыша Кубка Гагарина-2009 «Локомотивом» и «Ак Барсом».

		Выезд			
		В(3)	ВО(2)	П(0)	ПО(1)
Дома	В(3)	2	6	6	1
	ВО(2)		1	3	
	П(0)	3	1	7	3
	ПО(1)	1		2	

Начнём с построения ковариационного графа (рис. 32), вычислив предварительно выборочные средние:

$$\bar{x} = 3 \cdot 0,43 + 2 \cdot 0,11 + 0 \cdot 0,37 + 1 \cdot 0,09 = 1,6; \quad \bar{y} \approx 1.$$

Выборочную ковариацию находим как вес всего ковариационного графа:

$$k(X, Y) = 1,4 \cdot 0,06 \cdot 2 + 1,4 \cdot 0,17 \cdot 1 + 1,4 \cdot 0,17 \cdot (-1) + 0,4 \cdot 0,03 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,08 \cdot (-1) + (-1,6) \cdot 0,08 \cdot 2 + (-1,6) \cdot 0,03 \cdot 1 + (-1,6) \cdot 0,18 \cdot (-1) + (-0,6) \cdot 0,03 \cdot 2 + (-0,6) \cdot 0,06 \cdot (-1) = 0,132.$$

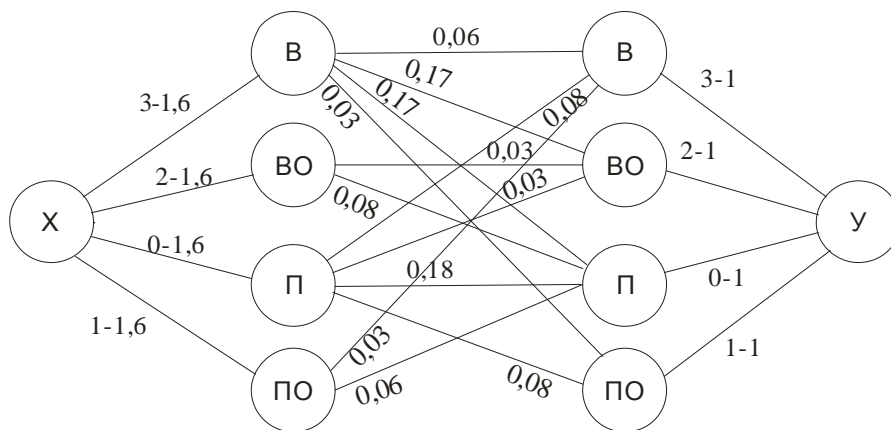


Рис. 32. Ковариационный граф игр «Локомотива» и «Ак Барса»

Также по графу можно вычислить и выборочные дисперсии
 $D_x^* = 1,4^2 \cdot (0,06 + 0,17 + 0,17 + 0,03) + 0,4^2 \cdot 0,11 + (-1,6)^2 \cdot 0,37 + (-0,6)^2 \cdot 0,09 = 1,84$,
 $D_y^* = 2^2 \cdot 0,17 + 1^2 \cdot 0,23 + (-1)^2 \cdot 0,49 = 1,4$;
 $\sigma_x^* \approx 1,36$, $\sigma_y^* \approx 1,18$.

Следовательно, $r(X, Y) = \frac{k(X, Y)}{\sigma_x^* \cdot \sigma_y^*} = \frac{0,132}{1,36 \cdot 1,18} \approx 0,082$ и можно

утверждать, что между очками, набранными в играх дома и на выезде, в этих двух группах связи практически нет.

Примером прямой корреляции может служить зависимость массы тела от роста (см. график ниже), проведенная на группе юных хоккеистов ($n=62$) команды «Локомотив». Найденное значение $r=0,86$ свидетельствует об очень тесной связи между двумя этими величинами, стремящимися к функциональной зависимости.

Чтобы математически выразить взаимосвязь находят коэффициенты регрессии и выводят уравнение регрессии. Простая форма линейной взаимосвязи двух переменных записывается в виде $y=a+bx$, где a является начальной ординатой и даёт значение y при $x=0$, b является коэффициентом регрессии, показывающим, насколько изменится в среднем величина y , если x изменится на единицу. В нашем примере уравнение примет вид $y=-58,77 + 0,67x$. Таким образом, увеличение роста юных спортсменов на 1см приводит к увеличению массы тела на 0,67 кг.

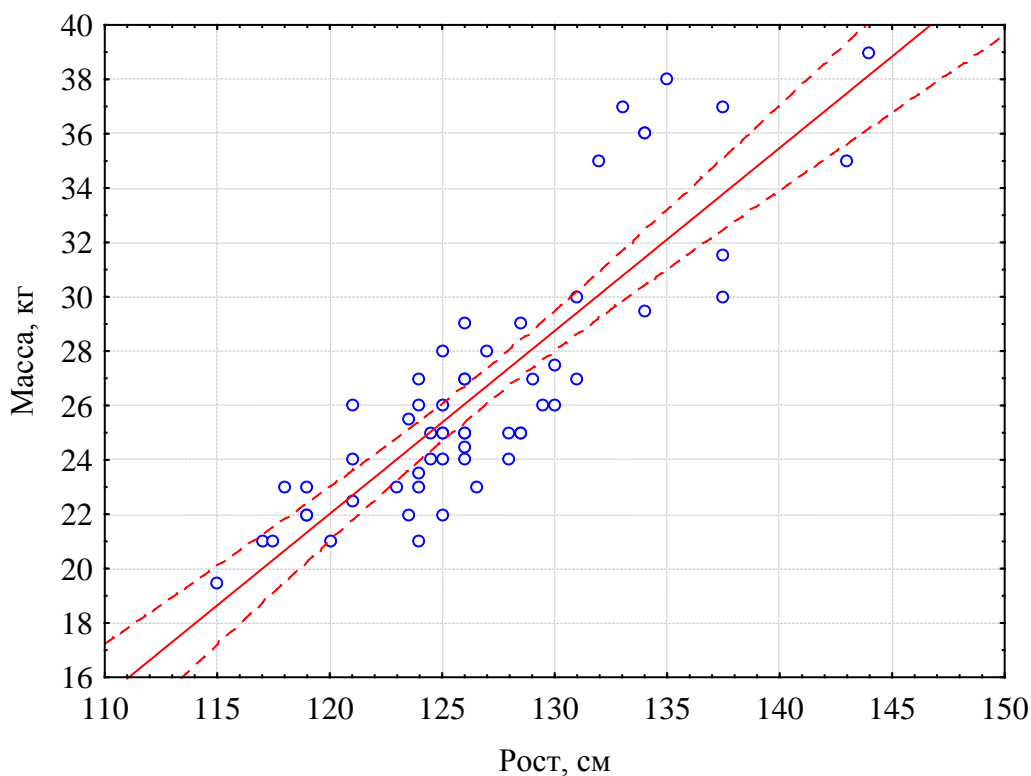


Рис. 33. Линия регрессии корреляционной связи роста и массы тела

§19. Ранговая корреляция

Наряду с линейным коэффициентом корреляции для измерения тесноты связи между двумя коррелируемыми признаками часто используются менее точные, но более простые по расчету коэффициенты корреляции рангов (или **ранговые коэффициенты корреляции**) Спирмена и Кендалла. Оба показателя, названные именами английских ученых, предложивших эти коэффициенты, основаны на корреляции не самих значений коррелируемых признаков, а их рангов.

Пусть объекты генеральной совокупности обладают двумя качественными признаками, и выборка объема n содержит независимые объекты, которые будем располагать (ранжировать) в порядке ухудшения качества. Для оценки **степени связи признаков** вводят коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

Коэффициент корреляции Кендалла (r_k) вычисляется по формуле:

$$r_k = \frac{4R}{n \cdot (n-1)} - 1,$$

где $R = R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}$ и R_i – число y_{i+1}, \dots, y_n , больших y_i , n – объем выборки, а выборка X расположена в порядке возрастания рангов.

Определим степень связи итогов чемпионата России по баскетболу для 8 команд в суперлиге по итогам сезонов 2008 и 2009 гг.

Команда	ЦСКА	Химки	Уникс	Динамо МО	Динамо М	Локо- мотив Р	Спартак СПб	Урал- Грейт
2008	1	2	3	4	5	6	7	8
2009	1	2	4	5	3	7	6	8

$R_1 = 7, R_2 = 6, R_3 = 4, R_4 = 3, R_5 = 3, R_6 = 1, R_7 = 1$, тогда $R = \sum R_i = 25, n = 8$, а

$$r_k = \frac{4R}{n(n-1)} - 1 = \frac{4 \cdot 25}{8 \cdot 7} - 1 = \frac{100}{56} - 1 \approx 0,79$$

и между итогами чемпионатов двух последних лет существует сильная прямая связь.

Рассмотрим теперь выборочный коэффициент корреляции Спирмена, вычисляемый по формуле:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{(n-1) \cdot n \cdot (n+1)},$$

где $d_i = x_i - y_i$ (разность соответствующих рангов). Предпочтение в дальнейшем отдаем коэффициенту Спирмена, поскольку он даёт более точный результат.

Заметим, что при равных показателях у нескольких участников им присваивается один общий ранг, равный среднему арифметическому соответствующих возможных мест.

При наличии одинаковых рангов рассчитываются поправки:

$$T_a = \sum (a-1)a(a+1)/12, T_b = \sum (b-1)b(b+1)/12,$$

где a, b – объем каждой группы одинаковых рангов в ранговых рядах А и В; и в этом случае коэффициент ранговой корреляции Спирмена рассчитывается по формуле

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot (\sum d_i^2 + T_a + T_b)}{(n-1) \cdot n \cdot (n+1)}$$

Для проверки значимости отличия коэффициента корреляции r_s от нуля находится $r_{s_{кр}}(\alpha)$ и проводится его сравнение с r_s .

Коэффициент корреляции может принимать значение от минус единицы до плюс единицы, причем при $r = 1$ связь прямая, а при $r = -1$ – обратная. По шкале Чертока принято считать, что если

- $|r| \leq 0,3$, то связь слабая;
- $0,3 < |r| \leq 0,5$ – связь умеренная;
- $0,5 < |r| \leq 0,7$ – связь средняя;
- $0,7 < |r| \leq 0,9$ – связь сильная;
- $0,9 < |r| \leq 1$ – связь очень сильная.

Для того чтобы при уровне значимости α проверить нулевую гипотезу о равенстве нулю коэффициента ранговой корреляции r_s Спирмена, надо вычислить критическую точку:

$$r_{s\text{кр}} = t_{\text{кр}}(\alpha, k) \cdot \sqrt{(1 - r_s^2)/(n - 2)},$$

где $t_{\text{кр}}(\alpha, k)$ – находят по таблице критических точек распределения Стьюдента по уровню значимости α и числу степеней свободы $k = n - 2$.

Если $|r_s| > r_{\text{кр}}$, то нулевую гипотезу отвергают, и между качественными признаками существует значимая ранговая корреляционная связь.

Установим степень связи между стоимостью сборных команд мира и их спортивными достижениями.

Сколько стоят сборные-участницы ЕВРО-2008*

	Сумма (млн. евро)	Ранг	Ранг – место на ЧЕ-2008	d_i^2
Италия	354,8	1	6,5	30,25
Испания	351	2	1	1
Франция	347,8	3	12,5	90,25
Португалия	273,7	4	6,5	6,25
Голландия	237,7	5	6,5	1,25
Германия	226,9	6	2	16
Россия	132,35	7	3,5	12,25
Хорватия	124,8	8	6,5	2,25
Швеция	119,05	9	12,5	6,25

* По данным сайта transfermarkt.de; Советский спорт. Футбол. № 23 (210). С. 39.

Чехия	111,45	10	12,5	6,25
Турция	104,8	11	3,5	56,25
Румыния	90,1	12	12,5	0,25
Греция	84,25	13	12,5	0,25
Швейцария	77,45	14	12,5	2,25
Польша	63,95	15	12,5	6,25
Австрия	42,93	16	12,5	12,25
			$T_B=0,5+5+42$	$\Sigma = 255,5$

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot (255,5 + 0,5 + 5 + 42)}{15 \cdot 16 \cdot 17} \approx 0,55$$

и существует средняя связь между стоимостью сборных команд и местами, занятыми ими на ЧЕ-2008. Проверим на значимость коэффициент корреляции:

$$r_{s_{кр}} = t_{кр}(0,05,14) \cdot \sqrt{(1 - 0,55^2)/(16 - 2)} = 2,12 \cdot \sqrt{0,05} = 0,47$$

$|r_s| = 0,55 > 0,47 = r_{кр}$, то есть в нашем случае коэффициент значим, и корреляция достоверно отличается от 0.

Удобным и наглядным способом представления информации при наличии более двух переменных служат корреляционные матрицы. Покажем это на следующем примере. По результатам соревнований три арбитра оценили мастерство 10 фигуристов, получивших три последовательности рангов:

Ранг арбитра А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ранг арбитра В	3	10	6	2	8	5	7	9	1	4
Ранг арбитра С	6	3	1	2	9	4	5	7	10	8

Найдём двух арбитров, оценки которых наиболее согласуются, и построим матрицу ранговой корреляции Спирмена.

Сначала найдём r_{12} , вычислив сумму квадратов разностей $\sum_{1,2} d_i^2$ рангов арбитров А и В.

$$\sum_{1,2} d_i^2 = 4 + 64 + 9 + 4 + 9 + 1 + 0 + 1 + 64 + 36 = 192 \text{ и } r_{12} = 1 - \frac{6 \cdot 192}{9 \cdot 10 \cdot 11} \approx -0,16,$$

$$\text{аналогично находим, что } r_{13} = 1 - \frac{6 \cdot 64}{9 \cdot 10 \cdot 11} \approx 0,61 \text{ и } r_{23} = 1 - \frac{6 \cdot 190}{9 \cdot 10 \cdot 11} \approx 0,15$$

Представим полученный результат в виде матрицы ранговой корреляции Спирмена, которая выглядит следующим образом

$$(r_s) = \begin{bmatrix} 1 & -0,16 & 0,61 \\ & 1 & 0,15 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

Из корреляционной матрицы видно, что коэффициент $r_{13} = 0,61$ является максимальным и, следовательно, оценки арбитров А и С наиболее согласуются.

При числе ранжируемых признаков более двух для тесноты связи можно применить множественный коэффициент ранговой корреляции или, иначе говоря, коэффициент конкордации, предложенный М. Кендэлом и Б. Смитом. Он вычисляется по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(n-1) \cdot n \cdot (n+1)},$$

где S – сумма квадратов отклонений суммы m рангов от их средней величины,

m – число ранжируемых признаков,

n – число наблюдений (количество команд).

Эта формула применяется в тех случаях, когда ранги по каждому признаку не повторяются. Если имеются связанные ранги, то коэффициент конкордации рассчитывается с учетом числа таких повторяющихся (связанных) рангов по каждому фактору:

$$W = \frac{12S}{m^2(n-1) \cdot n \cdot (n+1) - m \sum_1^m (t^3 - t)},$$

где t – число одинаковых рангов по каждому признаку.

В обозначенных формулах главное вычисление сводится к нахождению S , которую можно найти двумя способами. Обозначив через R_{ij} ранг i -ого фактора у j -й единицы, ранжируем каждый из m -факторов, а затем находим сумму рангов по каждой строке и общую сумму.

Тогда $S = \sum_1^n \left(\sum_1^m R_{ij} \right)^2 - \frac{\left(\sum_1^n \sum_1^m R_{ij} \right)^2}{n}$ или

$S = \sum_1^n \left(\sum_1^m R_{ij} - T \right)^2$, где $T = \frac{\sum_1^n \sum_1^m R_{ij}}{n}$ - средняя величина суммы рангов.

Коэффициент конкордации W принимает значения от 0 до 1. Считаем, что если $0 \leq W < 0,3$, то множественная корреляционная связь слабая,

если $0,3 \leq W < 0,5$ – умеренная,

если $0,5 \leq W < 0,7$ – средняя,

если $0,7 \leq W < 0,9$ – высокая,

если $0,9 \leq W \leq 1$ – очень высокая.

Определим существенность представительства футболистов той или иной страны в сборных командах-участницах чемпионата Европы 2008 г.

В каких чемпионатах выступают футболисты*

№	Сборная	Англия		Италия		Испания		Другие страны		Местные		$\sum R_{ij}$	$(\sum R_{ij})^2$	Место – ранг
		Ранг		Ранг		Ранг		Ранг		Ранг				
1	Австрия	1	12,5	2	7	-	14	6	7,5	14	6,5	47,5	2256,25	12,5
2	Хорватия	3	7	3	5	-	14	15	1	2	16	43	1849	6,5
3	Чехия	3	7	4	3	1	9	12	2	3	15	36	1296	12,5
4	Франция	6	1,5	2	7	3	3	2	12,5	10	10	34	1156	12,5
5	Германия	2	10	-	13	2	5	-	15,5	19	2	45,5	2070,25	2
6	Греция	1	12,5	-	13	2	5	6	7,5	14	6,5	44,5	1980,25	12,5
7	Италия	-	15	19	1	2	5	2	12,5	18*	3,5	37	1369	6,5
8	Нидерланды	6	1,5	4	3	-	14	4	9	9	11,5	39	1521	6,5
9	Польша	3	7	-	13	1	9	10	4,5	9	11,5	45	2025	12,5

* Аргументы и факты. № 24 (1441). Июнь. 2008. С. 34.

10	Португалия	4	5	-	13	5	2	3	10,5	11	8,5	39	1521	6,5
11	Румыния	-	15	4	3	1	9	7	6	11	8,5	41,5	1722,25	12,5
12	Россия	-	15	-	13	-	14	1	14	22	1	57	3249	3,5
13	Испания	5	3,5	-	13	18	1	-	15,5	18	3,5	36,5	1332,25	1
14	Швейцария	2	10	2	7	-	14	11	3	8	13	47	2209	12,5
15	Швеция	5	3,5	1	9	1	9	10	4,5	6	14	40	1600	12,5
16	Турция	2	10	-	12	1	9	3	10,5	17	5	46,5	2162,25	3,5
$\Sigma =$												679	29318,5	

$$S = 29318,5 - \frac{679^2}{16} \approx 503,44,$$

$$W = \frac{12 \cdot 503,44}{25 \cdot 15 \cdot 16 \cdot 17} \approx 0,06$$

Таким образом, число футболистов сборных разных стран стабильно и не зависит от выступления их в каком-то определённом чемпионате.

Существенность коэффициента конкордации оценивается по χ^2 – критерию. С этой целью вычисляем $\chi_{\text{факт}}^2$ по одной из формул:

$$\chi_{\text{факт}}^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} \quad (\text{при отсутствии связанных рангов})$$

$$\text{или } \chi_{\text{факт}}^2 = \frac{12S}{mn(n+1) - \frac{\sum (t^3 - t)}{n-1}} \quad (\text{при наличии связанных рангов}).$$

Фактическое значение $\chi_{\text{факт}}^2$ сравнивается с табличным, соответствующим принятому уровню значимости α (0,01 или 0,05, или 0,1) и числу степеней свободы $k = n - 1$.

Если $\chi_{\text{факт}}^2 > \chi_{\text{табл}}^2(\alpha, n-1)$, то коэффициент W существенен на уровне значимости α .

Коэффициент конкордации особенно часто используется в экспертных оценках, чтобы определить степень согласованности мнений экспертов о важности того или иного оцениваемого показателя. Сложные задачи приходится решать и при комплектовании команд в спортивных играх. Здесь наряду с индивидуальными возможностями игроков на отбор в команду

влияет принятый командой тактический вариант, особенности тактики и техники противника. Не менее важным является умение каждого игрока реально оценивать свои возможности и возможности партнеров, подчинять стремление к достижению личного успеха интересам команды. Согласованность общих усилий предлагается оценивать через коэффициент конкордации, который будет полезен и при нахождении связи сразу между несколькими спортивными показателями или по одному показателю за несколько лет.

§20. Частная и множественная линейная корреляция

Частная корреляция. Нередко взаимосвязь между двумя переменными оказывается обусловлена влиянием на неё третьей переменной. Для выявления «чистой» зависимости необходимо нивелировать влияние третьего аргумента. Сделать это помогает частный коэффициент корреляции.

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}}$$

Рассмотрим это на следующем примере. У юных хоккеистов команды «Локомотив» (n=63) измерили кистевую динамометрию (X_1), жизненную ёмкость легких (ЖЁЛ) (X_2), измерили рост (X_3). В соответствии с формулой найдём коэффициенты корреляции по Пирсону между указанными переменными и запишем в виде матрицы:

$$\begin{matrix} \text{Динам.} \\ \text{ЖЁЛ} \\ \text{Рост} \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0,57 & 0,68 \\ & 1 & 0,73 \\ & & 1 \end{pmatrix}$$

Мы видим наличие средней силы взаимосвязи между показателями ЖЁЛ и кистевой динамометрии ($r=0,57$). Вместе с тем, как правило, дети (люди), имеющие больший рост, имеют и большую ЖЁЛ, таким образом, корреляция между ЖЁЛ и динамометрией обусловлена варьированием детей по росту. Чтобы найти чистую зависимость, применим описанную выше формулу частного коэффициента корреляции.

$$r_{12.3} = \frac{0,57 - 0,68 \times 0,73}{\sqrt{(1 - 0,68^2)(1 - 0,73^2)}} = 0,14$$

Таким образом, юные футболисты одного и того же роста не имеют практически никакой взаимосвязи между ЖЁЛ и динамометрией.

Методы математической статистики позволяют находить частные коэффициенты корреляции не только при исключении влияния одной переменной, но и большего их числа. Если исключается одна переменная, то говорят о частных коэффициентах первого порядка, если два – то второго порядка и т.д. В рассматриваемом примере исключим еще одну переменную – массу тела (X_4). Тогда формула для определения частного коэффициента корреляции (в нашем случае второго порядка) при исключении роста (X_3) и массы тела (X_4) будет выглядеть следующим образом:

$$r_{12.34} = \frac{r_{12.4} - r_{13.4}r_{23.4}}{\sqrt{(1 - r_{13.4}^2)(1 - r_{23.4}^2)}}$$

Как видно из формулы, сначала необходимо найти частные коэффициенты первого порядка, для чего используем формулу, приведённую в начале параграфа. Находим, что

$$r_{12.4} = \frac{r_{12} - r_{14}r_{24}}{\sqrt{(1 - r_{14}^2)(1 - r_{24}^2)}} = 0,57$$

$$r_{13.4} = \frac{r_{13} - r_{14}r_{34}}{\sqrt{(1 - r_{14}^2)(1 - r_{34}^2)}} = 0,68$$

$$r_{23.4} = \frac{r_{23} - r_{24}r_{34}}{\sqrt{(1 - r_{24}^2)(1 - r_{34}^2)}} = 0,73$$

Подставляя полученные значения в формулу, находим, что чистая зависимость $r=0,16$.

Множественная корреляция. При решении различного рода задач исследователю приходится иметь дело с тем, что корреляционные связи не ограничиваются связями между двумя переменными. Чаще всего на результат влияет несколько

переменных или факторов. Часто множественная линейная корреляция возникает, когда между несколькими независимыми переменными ($X_2, X_3, \dots X_i$) и зависимой (X_1) переменной имеются линейные связи.

$$X_1 = a + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_i X_i$$

где b_2, b_3, b_i – частные коэффициенты уравнения регрессии, так называемые нестандартизированные. Коэффициент b_2 показывает на сколько изменится зависимая переменная (X_1) при изменении X_2 на единицу и неизменности X_3 и X_i . Коэффициент b_3 показывает на сколько изменится X_1 при изменении X_3 на единицу и неизменности X_i .

Частные коэффициенты регрессии находят по следующим формулам

$$b_2 = \frac{s_1}{s_2} \beta_2; \quad b_3 = \frac{s_1}{s_3} \beta_3; \quad b_i = \frac{s_1}{s_i} \beta_i,$$

где β – стандартизированные коэффициенты, которые могут быть найдены решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 + r_{23}\beta_3 + r_{24}\beta_4 + \dots + r_{2i}\beta_i &= r_{12} \\ r_{23}\beta_2 + \beta_3 + r_{34}\beta_4 + \dots + r_{3i}\beta_i &= r_{13} \\ &***** \\ r_{2i}\beta_2 + r_{3i}\beta_3 + r_{4i}\beta_4 + \dots + \beta_i &= r_{1i} \end{aligned} \right\}$$

Решив систему уравнений, находим, что

$$\beta_2 = \frac{(r_{12}r_{23} - r_{13})(r_{24}^2 - 1) - (r_{24}r_{23} - r_{34})(r_{23}^2 - 1)}{(r_{23}^2 - 1)(r_{24}^2 - 1) - (r_{23}r_{24} - r_{34})^2}$$

$$\beta_3 = \frac{(r_{12}r_{23} - r_{13})(r_{23}r_{24} - r_{34}) - (r_{12}r_{24} - r_{14})(r_{23}^2 - 1)}{(r_{24}r_{23} - r_{13})(r_{23}r_{24} - r_{34}) - (r_{24}^2 - 1)(r_{23}^2 - 1)}$$

Рассмотрим это на примере рейтингов (X_1) юных хоккеистов ($n=63$) команды «Локомотив» получившихся в результате тестирования [4]. Для этого из шести тестовых величин возьмем три: прыжок в длину с места (X_2), кистевую динамометрию (X_3) и результат в челночном беге (X_4).

Рассчитав стандартизированные коэффициенты, применяя вышеописанные формулы, находим, что $\beta_2 = -0,43$, $\beta_3 = -0,35$, $\beta_4 = 0,35$.

Получили следующую формулу множественной линейной регрессии:

$$X_1 = 31,09 - 1,68X_2 - 1,31X_3 - 8,25X_4 \pm 10,7$$

Из этого следует, что при изменении результата в прыжке на 1 см при неизменных величинах в динамометрии и челноке, рейтинг изменится в среднем на 1,68 ступени. При изменении результата в динамометрии на 1 даН рейтинг изменится на 1,31 ступени, при неизменных показателях в прыжке и челноке, и при улучшении результата в челночном беге на 1 с рейтинг повысится в среднем на 8,25 ступеней. Уравнение можно записать вместе со стандартной ошибкой ($\pm S$) показывающей 68,3% колебаний вокруг поверхности регрессии. То есть в нашем случае $\frac{2}{3}$ всех участвовавших в тестировании детей рейтинг не будет отличаться от рассчитанного по формуле более чем на 10,7 ступени.

Полученный при вычислении коэффициент множественной корреляции получился $R_{1.234} = 0,82$, а детерминация $D_{1.234} = 0,68$. Таким образом, вариация рейтинга юного хоккеиста на 68% объясняется совокупным влиянием результатов в челночном беге, кистевой динамометрии и дальности прыжка.

При оценке влияния независимых переменных на зависимую переменную можно оценить их вклад в это влияние при помощи коэффициентов частной детерминации.

$$D_{1.234} = d_{12.34} + d_{13.24} + d_{14.23},$$

$$\text{где } d_{12.34} = \beta_2 r_{12}; d_{13.24} = \beta_3 r_{13}; d_{14.23} = \beta_4 r_{14}$$

Следует обратить внимание, что этими формулами (8) можно пользоваться, если β -коэффициенты и соответствующие им коэффициенты корреляции имеют одинаковые знаки. В противном случае относительное влияние переменных можно оценить непосредственно по абсолютной величине β -коэффициентов, которые показывают, на какую часть сигмы (σ) изменилось бы значение результата при изменении переменной на сигму, при неизменности прочих переменных.

Найдём парные коэффициенты корреляции между указанными переменными и запишем их в матрицу:

$$\begin{matrix} \text{Рейтинг} \\ \text{Прыжок} \\ \text{Динам.} \\ \text{Челнок} \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & -0,68 & -0,55 & 0,56 \\ & 1 & 0,34 & -0,36 \\ & & 1 & -0,16 \\ & & & 1 \end{pmatrix}$$

Подставив полученные результаты в уравнение (11), получаем, что

$$d_{12.34} = -0,68\beta_2; d_{13.24} = -0,55\beta_3; d_{14.23} = 0,56\beta_4$$

Таким образом, на долю результата в прыжке приходится 29,3% вариации рейтинга, на долю динамометрии 19,3 %, и на результат в челноке – $\approx 19,6\%$.

§21. Корреляционное отношение и эффективность тренировочного процесса

Как отмечалось выше, коэффициенты корреляции хорошо характеризуют связи только лишь в случае линейной зависимости, в противном случае они дают искажённое представление о степени тесноты. При криволинейной регрессии лучше оценить тесноту взаимосвязи при помощи корреляционного отношения.

Для оценки тесноты **нелинейной** корреляционной связи вводят выборочные корреляционные отношения. **Выборочным корреляционным отношением** Y к X называют отношение межгруппового среднего квадратического отклонения к общему среднему квадратическому отклонению признака Y :

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum n_x (\bar{y}_x - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

$$\eta_{yx} = \sigma_{\text{межгр}_x} / \sigma_{\text{общ}}, \text{ или в других обозначениях}$$

$$\eta_{yx} = \sigma_{y^*_x} / \sigma_{y^*}.$$

Таким образом, если статистическая совокупность разбита на группы по какому-либо признаку и для этих групп известны (или могут быть вычислены) основные характеристики, то нередко требуется оценить вариации показателей объединений

совокупности на основе показателей отдельных групп. Так, отношение $\frac{\delta^2}{\sigma_{\text{общ}}^2}$ называется коэффициентом детерминации η^2 и показывает, какая доля в общей дисперсии приходится на дисперсию, обусловленную вариацией признака, положенного в основу группировки.

Корреляционное отношение удовлетворяет двойному неравенству

$$0 \leq \eta \leq 1,$$

и если $\eta = 0$, то признак Y с признаком X корреляционной зависимостью не связан, а если $\eta = 1$, то признак Y связан с признаком X функциональной зависимостью.

В качестве примера рассмотрим вычисления эмпирического корреляционного отношения взаимосвязи такого важного показателя как максимальное потребление кислорода (МПК) и возраст у юных футболистов.

Год тестирования	Числ. группы	МПК/кг	Дисперсия
2005	19	68,18	52,19
2006	16	67,08	53,35
2007	19	48,49	68,25
2008	17	50,63	40,71
Итого	71	58,59	

Найдем среднюю величину МПК/кг по четырём возрастным группам:

$$\bar{x}_{\text{общ}} = \frac{\sum_j x_j \cdot N_j}{\sum_j N_j} = \frac{68,18 \cdot 19 + 67,08 \cdot 16 + 48,49 \cdot 19 + 50,63 \cdot 17}{71} = 58,59.$$

Вариация МПК/кг характеризуется межгрупповой дисперсией:

$$\begin{aligned} \delta^2 &= \frac{\sum_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{\text{общ}})^2 \cdot N_j}{\sum_j N_j} = \\ &= \frac{(68,18 - 58,59)^2 \cdot 19 + (67,08 - 58,59)^2 \cdot 16 + \dots + (50,63 - 58,59)^2 \cdot 17}{71} \approx 83,31 \end{aligned}$$

Средняя групповых дисперсий даст обобщающую характеристику вариации величины МПК/кг, зависящую от возраста юного футболиста:

$$\overline{\sigma^2} = \frac{52,19 \cdot 19 + 53,35 \cdot 16 + 68,25 \cdot 19 + 40,71 \cdot 17}{71} \approx 58,46.$$

Вариация величины МПК/кг, обусловленная влиянием всех факторов (в том числе и тренируемостью), определяется общей дисперсией:

$$\sigma_{\text{общ}}^2 = \delta^2 + \overline{\sigma^2} = 83,31 + 58,46 = 141,77.$$

Сравнивая межгрупповую дисперсию с общей, рассчитываем коэффициент детерминации:

$$\eta^2 = \frac{\delta^2}{\sigma_{\text{общ}}^2} = \frac{83,31}{141,77} \approx 0,59$$

Полученный коэффициент детерминации показывает, что дисперсия величины МПК/кг юных футболистов на 59% зависит от возраста.

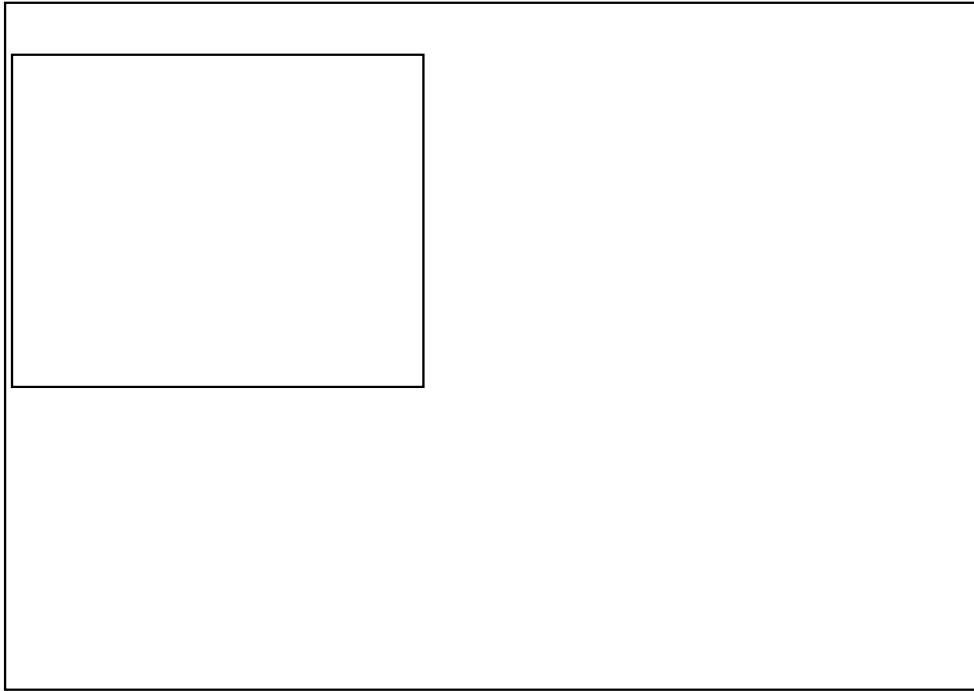
Квадратный корень из коэффициента детерминации показывает эмпирическое корреляционное отношение 0,77.

§22. Компьютерные технологии в статистическом анализе спортивных достижений

Для облегчения сложных вычислений хорошим подспорьем могут служить пакеты прикладных статистических программ: Excel, Statistica, SPSS, Matematica и др.

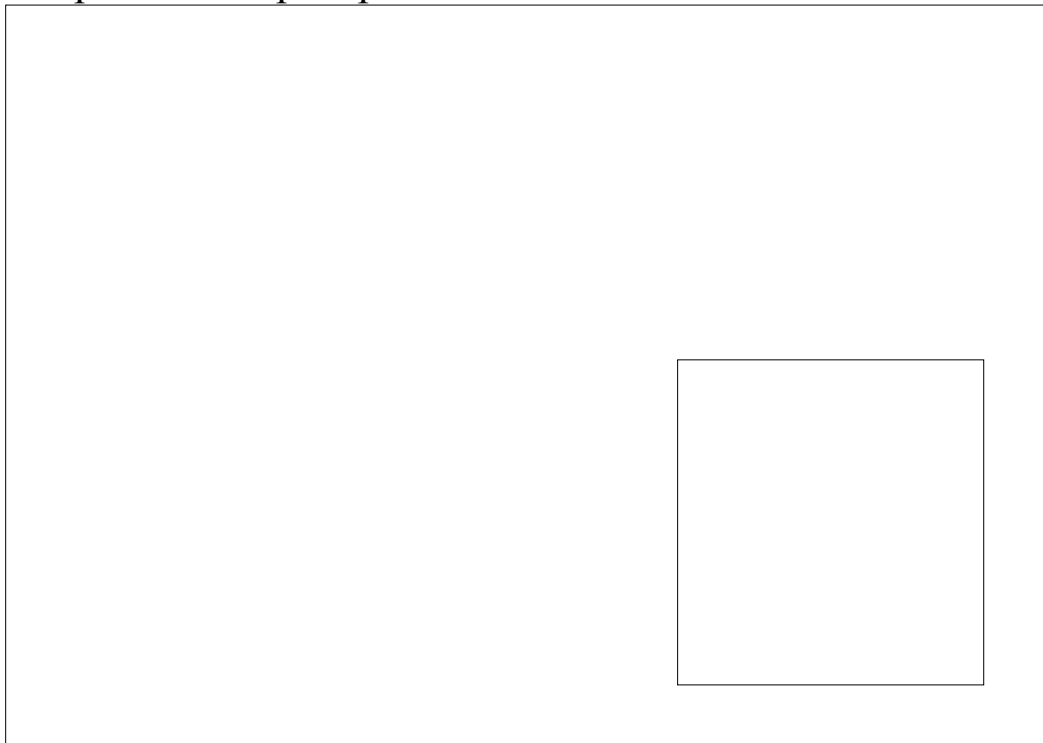
Рассмотрим пошаговые действия для расчёта в программе Statistica версии 6.0 фирмы StatSoft.

1. Открываем программу и создаём новую электронную таблицу, размер которой определяется количеством показателей необходимых для анализа. Следует отметить её совместимость с другими электронными таблицами, например, с таблицами Excel.

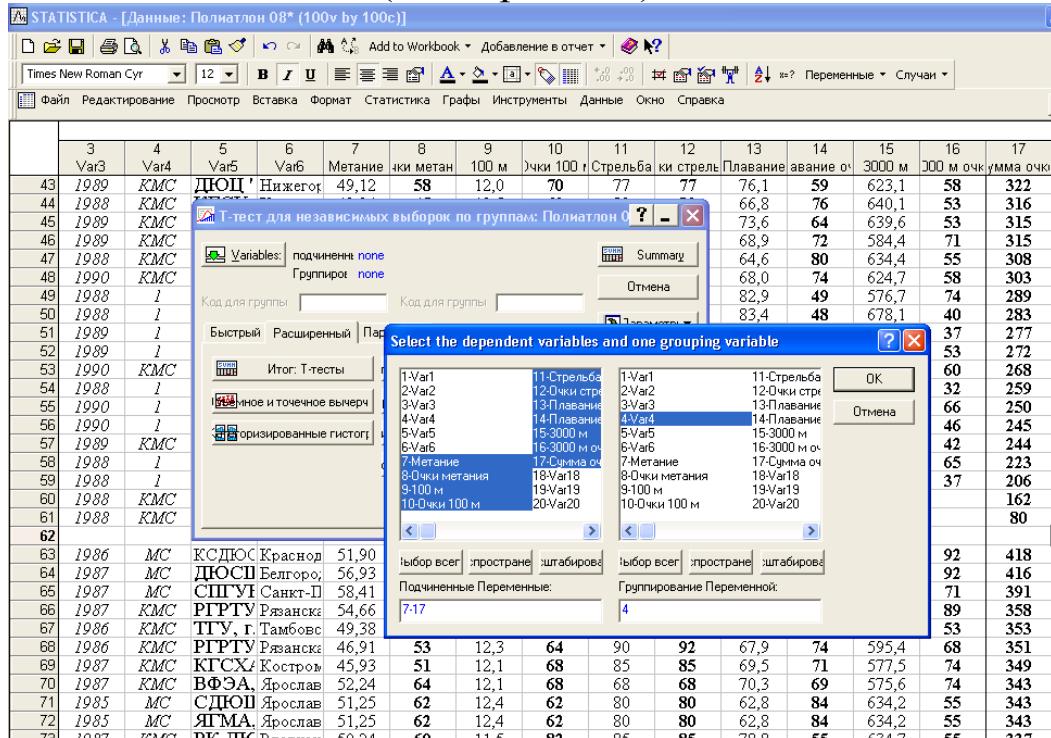


2. Заполняем таблицу исходными данными. Для примера возьмём показатели Чемпионата России по летнему полиатлону. Необходимо определить, отличаются ли показатели кандидатов в мастера спорта от результатов перворазрядников в выполняемых дисциплинах – метании, спринте, стрельбе, плавании и кроссе.

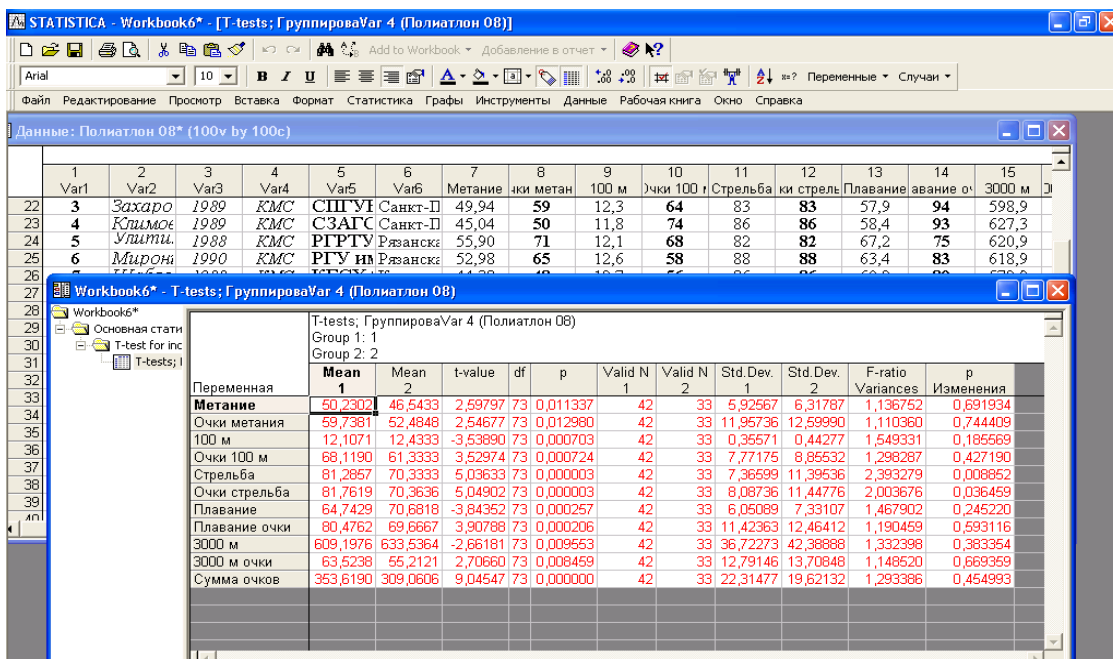
3. В меню «статистика» открываем необходимую для расчёта: параметрическую (основную) или непараметрическую. Выберем t -критерий Стьюдента (t -test, independent by groups), то есть параметрический критерий.



4. В открывшемся подменю выбираем варианты, для которых будут осуществляться расчёты – бег, стрельба и т. д., а также группирующую переменную, которая в нашем случае представляет уровень квалификации спортсменов – МС, КМС (группа 1) или 1 разряд (группа 2), записанные в исходной таблице в столбце Var 4 (см. скриншот).

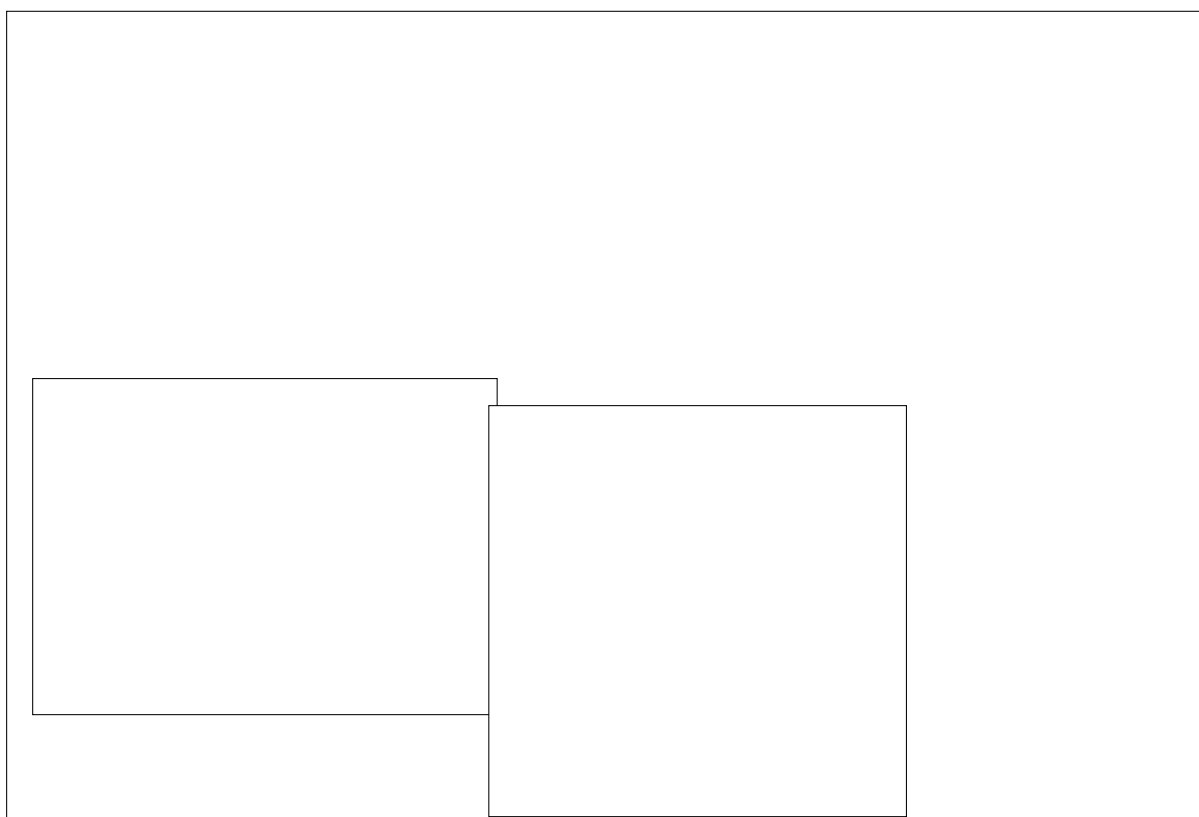


5. Нажав виртуальную клавишу «ОК», а затем «Итог: Т-тест», получаем результаты расчётов, представленные на скриншоте ниже.



Программа позволяет рассчитать среднюю по каждой из групп, величину t-критерия, степень свободы, уровень значимости, количество случаев взятых для анализа, стандартные отклонения выборок, величину F-критерия Фишера для проверки гипотезы о равенстве выборочных дисперсий и его уровне значимости. Если окажется, что уровень значимости критерия F меньше 0,05, то значит, не выполняется одно из условий применения t-критерия и необходимо выбрать другой метод расчёта – непараметрический. В предлагаемом примере лишь для результатов стрельбы и набранных в ней очков параметрический критерий не применим. Альтернативой может служить непараметрический критерий u Манна-Уитни.

Для непараметрических критериев действия аналогичны тем, что описаны выше для расчётов критерия Стьюдента. В меню «статистика» выбираем непараметрический критерий. В показавшемся окне отмечаем необходимый тест, выбираем интересующие варианты для расчёта (здесь результаты в стрельбе и выставленные за это очки).



Нажимаем клавишу теста Манна-Уитни. Результат показан ниже. Получили, что по критерию Манна-Уитни показатели у группы МС и КМС значительно отличаются от перворазрядников.

The screenshot shows the STATISTICA software interface. The main window displays a data table with 15 columns (Var1 to Var15) and 21 rows of data. An overlay window titled 'Workbook7* - Mann-Whitney U Test (Полиатлон 08)' shows the results of the test for the variable 'Стрельба' (Shooting). The test is significant at $p < 0,05000$.

variable	Rank Sum Группа 1	Rank Sum Группа 2	U	Z	p-level
Стрельба	1983,500	866,5000	305,5000	4,135937	0,000035
Очки стрельба	1983,500	866,5000	305,5000	4,135937	0,000035

The background data table (partially visible) includes columns for various sports: 1 Var1, 2 Var2, 3 Var3, 4 Var4, 5 Var5, 6 Var6, 7 Метание, 8 ски метан, 9 100 м, 10 Учки 100 г, 11 Стрельба, 12 ки стрель, 13 Плавание, 14 авание о, 15 3000 м. Rows list names and years, such as 22 3 Захаро 1989, 23 4 Климоє 1989, 24 5 Улити. 1988, 25 6 Мироні 1990, 26 7 Шаблю 1988, 27 8 Соловь 1990, 28 9 Багриць 1988, 29 10 Помык 1990, 30 11 Усачев 1989, 31 12 Шерба 1989, 32 13 Марьян 1988, 33 14 Гришим 1990, 34 15 Исаков 1989, 35 16 Золота 1988, 36 17 Бурда 1990, 37 18 Ланин 1989, 38 19 Логино 1989, 39 20 Мурта 1989, 40 21 Китини 1989.

Глава VI. Тестирование общей физической подготовленности

Общая теория тестов

Впервые этот термин появился в научной литературе в конце прошлого века, а широкое распространение получил после опубликования в 1912 г. американским психологом Э. Торндайком работы по применению теории тестов в педагогике.

Тест (от англ. test - испытание, исследование) – задание стандартной формы для определения умственного развития, способностей, волевых или физических качеств, психофизиологических характеристик человека. В вычислительной технике тестом называют задачу с известным решением, предназначенную для проверки правильности работы цифровой вычислительной техники. Обычно под термином *тест* понимают измерение или испытание, проводимое с целью определения состояния или способностей спортсмена (В.Л. Уткин, 1989). В спортивных науках проводится тестирование с целью получения различных численных значений в ходе измерений. Само по себе тестирование рассматривают как косвенное измерение. Тестирование проводят в том случае, когда изучаемый объект недоступен для прямого измерения. Например, трудно определить преобладание в мышечной системе ног «белых» или физических волокон над «красными» или оксидативными. Поэтому проводится тест с вертикальным прыжком, результаты которого удовлетворительно коррелируют с прямыми гистохимическими исследованиями пунктата мышечной ткани четырехглавой мышцы бедра. Точно так же лабораторное тестирование общей физической работоспособности по тесту PWC₁₇₀ является надежным, хотя и косвенным показателем выносливости спортсмена.

Тестирование проводят и в том случае, когда изучаемое явление не вполне корректно. В этой связи можно привести примеры оценки двигательных качеств спортсмена при помощи тестирования с последующим педагогическим оцениванием. Также тексты применяются для определения уровня развития и совершенствования спортивной техники, тактической подготовленности, психологического статуса спортсмена. В проведении массовых обследований при отборе детей для

занятий тем или иным видом спорта используются двигательные и психологические тесты.

Процедура выполнения теста называется *тестированием*, при этом результатами тестирования являются численные значения, полученные в ходе измерений. Например, бег на 30 м - это *тест*, сама процедура проведения забегов и определение их длительности - это *тестирование*, а длительность движения или время бега - *результат теста*.

Таким образом, измерения и тестирование связаны самым тесным образом и составляют основу метрологических исследований. Для того чтобы спортивный педагог мог использовать результаты тестирования в своей практической деятельности, их подвергают педагогическому оцениванию. В этом случае им дают качественную оценку или выражают в очках, баллах (например, результаты в легкоатлетических многоборьях). Разные методические приемы унифицирования результатов тестирования двигательных качеств, спортивной подготовленности и функционального состояния организма спортсменов и представление их в удобной (часто в интегральной) для интерпретации форме предложены в работах [13, 2].

Испытаний с целью получения количественной информации о спортсмене может проводиться много. При этом необходимо подчеркнуть, что не всякие измерения могут быть использованы как тесты, а только те, которые отвечают специальным требованиям:

- 1) стандартность (процедура или протокол, а также условия тестирования должны быть одинаковыми во всех случаях применения теста);
- 2) система оценок результатов тестирования;
- 3) надежность;
- 4) информативность.

Тесты, удовлетворяющие требованиям надежности и информативности, называют *добротными или аутентичными* (authentic - англ. - подлинный, аутентичный). Тесты, в основе которых лежат двигательные задания, называют *двигательными* (или моторными). Результатами их могут быть либо двигательные параметры (время прохождения дистанции, длительность движения Δt , число повторений n , пройденное

расстояние S, и т. п.), либо физиологические и биомеханические показатели. В зависимости от содержания процедуры тестирования, а также от задания, которое стоит перед испытуемым спортсменом, различают три группы двигательных тестов:

- 1) контрольные упражнения;
- 2) стандартные функциональные пробы;
- 3) максимальные функциональные пробы.

Тесты, результаты которых зависят от двух и более факторов, называются *гетерогенными*. Они составляют большинство тестов в отличие от *гомогенных*, результат которых зависит в основном от одного фактора.

В практике проведения контрольных мероприятий используют не один, а несколько тестов, имеющих единую конечную цель (например, оценку какого-либо двигательного качества). Такая группа тестов называется комплексом или батареей тестов. Примером может служить комплекс тестов для оценки быстроты движений спортсмена. Известно, что быстрота движений рассматривается в трех аспектах: 1) быстрота одиночного, ненагруженного движения, 2) время двигательной реакции, 3) темп двигательных действий. Для всесторонней оценки быстроты движения можно измерить высоту вертикального прыжка по Абалакову, что будет показателем быстроты одиночного движения; определить время простой двигательной реакции (например, с помощью специального компьютерного теста), измерить темп локального движения (компьютерный теппинг-тест) и величину темпа бега на месте. Получилась батарея из четырех тестов (табл. 6).

Таблица 6

Батарея тестов для оценки двигательного качества быстроты движений в группе юных спортсменов-футболистов на начальном этапе подготовки и через год систематических занятий футболом ($M \pm \sigma$)

Показатели	Начальный период тренировки	Через год тренировки
Вертикальный прыжок, см	26,7±0,4	30,9±0,5

Время реакции, мс	5,2±0,1	5,6±0,6
Теппинг-тест, с ⁻¹	410±10	360±7
Темп бега на месте, с ⁻¹	3,7±0,1	4,5±0,6

Одной из важных задач тестирования является оценка функционального состояния систем организма и уровня физической работоспособности (тренированности). Точное определение цели тестирования будет способствовать правильному подбору тестов. Соответственно, комплекс тестов должен включать в себя показатели, характеризующие такие двигательные качества обследуемых, от которых зависит успех в соревновательной деятельности. Также это необходимо учитывать и при определении количества испытаний по каждому из физических качеств.

При определении функциональной подготовленности с помощью тестирования оценивается реакция отдельных систем и органов на определенные воздействия (характер, тип и выраженность этой реакции). При этом оценка результатов тестирования может быть как качественной, так и количественной.

Для оценки функционального состояния организма могут быть использованы различные функциональные тесты (пробы):

1. Пробы с дозированной физической нагрузкой: одно-, двух-, трех- и четырехмоментные.
2. Пробы с изменением положения тела в пространстве: ортостатическая, клиноростатическая, клиноортостатическая.
3. Пробы с изменением внутригрудного и внутрибрюшного давления: проба с натуживанием (Вальсальвы).
4. Гипоксемические пробы: пробы с вдыханием смесей, содержащих различное соотношение кислорода и углекислоты, задержка дыхания и другие.
5. Фармакологические, алиментарные, температурные и др.

Помимо этих функциональных тестов общего характера применяются также специфические пробы с нагрузкой, характерной для каждого вида двигательной деятельности, например, 12-минутный бег по Куперу.

Точность результатов тестирования оценивается на другой основе по сравнению с точностью измерений. При оценке

точности измерения результат измерения сопоставляют с результатом, полученным более точным методом или прибором. При тестировании возможность сравнения полученных результатов с более точными методами чаще всего отсутствует. Поэтому приходится проверять не результаты тестирования, а качество теста. Проверку необходимо проводить еще до начала тестирования. Качество теста зависит от его *информативности* и *надежности*.

§23. Надежность теста

Надежностью теста называется степень совпадения результатов с повторным тестированием одних и тех же людей в одинаковых условиях. Надежность оценивается по величине коэффициента корреляции. В качестве надежности теста используют коэффициент корреляции между результатами первого и повторного тестирования.

При анализе надежности теста выделяют две ее разновидности:

- воспроизводимость;
- объективность.

Для проверки надежности тестирования проводят повторный тест, который называется - *ретест* (табл. 7).

Таблица 7

Сравнение результатов обследования спортсменов теста и ретеста

Показатели	Тест	Ретест	изм. в %
Масса тела, кг	63,3±0,8	63,1±0,8	-0,3
ЧСС (покой)	72,3±2,3	74,4±2,2	2,9
САД, мм рт. ст.	118,1±1,1	120,4±2,8	1,7
ДАД, мм рт. ст.	72,9±1,0	72,4±1,3	-0,7
АДср., мм рт. ст.	87,8±0,9	88,3±1,3	0,6
ДП, отн. ед.	85,4±2,9	90,0±3,9	5,4
ЖЁЛ, л	4787,5±82,2	4869,4±105,9	1,7

ЖИ, отн. ед.	75,8±1,2	77,2±1,6	1,8
Динамометрия, пр.	48,4±1,6	47,8±1,2	-1,2
Динамометрия, лев.	44,0±1,2	41,9±1,2	-4,8
Становая тяга	104,2±1,8	105,9±2,0	1,6
Вертикальный прыжок, см	49,1±1,3	48,1±1,1	-2,0
ЧСС (нагрузка)	161,6±1,9	164,7±1,9	1,9
PWC 170, кг/мин	1014,7±28,4	975,5±23,0	-3,9
PWC 170/кг массы тела	16,0±0,3	15,5±0,3	-3,1

Методом повторного испытания проверяется воспроизводимость результатов тестирования (табл. 7). *Объективностью (согласованностью) теста* называют степень независимости получаемых результатов от личных качеств человека, проводящего тестирование. Чем процедура тестирования проще, тем большая объективность тестирования может быть получена. И наоборот, объективность тестирования снижается при повышении требований к квалификации человека, проводящего тестирование.

Вариацию результатов при повторных измерениях называют внутрииндивидуальной, внутригрупповой или внутриклассовой. Основными причинами такой вариации результатов тестирования, которая искажает оценку истинного состояния подготовленности спортсмена, то есть вносит определенную ошибку или погрешность в эту оценку, являются следующие обстоятельства:

- 1) случайные изменения состояния испытуемых в процессе тестирования (психологический стресс, привыкание, утомление, изменение мотивации к выполнению теста, изменение концентрации внимания, нестабильность исходной позы и других условий процедуры измерений при тестировании);
- 2) неконтролируемые изменения внешних условий (температура, влажность, ветер, солнечная радиация, присутствие посторонних лиц и т. п.);
- 3) нестабильность метрологических характеристик технических средств измерения (ТСИ), используемых при тестировании. Нестабильность может быть вызвана несколькими причинами,

обусловленными несовершенством применяемых ТСИ: погрешностью результатов измерения из-за изменений напряжения сети, нестабильностью характеристик электронных измерительных приборов и датчиков при изменениях температуры, влажности, наличием электромагнитных помех и т. п. Следует отметить, что по этой причине погрешности измерений могут составлять значительные величины;

4) изменения состояния экспериментатора (оператора, тренера, педагога, судьи), осуществляющего или оценивающего результаты тестирования, и замена одного экспериментатора другим;

5) несовершенство теста для оценки данного качества или конкретного показателя подготовленности.

Для определения коэффициента надежности теста существуют специальные математические формулы. Тесты, надежность которых меньше указанных в таблице значений, использовать не рекомендуется.

Таблица 8

Градация уровней надежности тестов

Значения коэффициентов	Надежность
1,0-0,95	Отличная
0,94-0,90	Хорошая
0,89-0,80	Средняя
0,79-0,70	Приемлемая
0,69-0,60	Низкая

Говоря о надежности тестов, различают их стабильность (воспроизводимость), согласованность, эквивалентность. Под *стабильностью теста* понимают воспроизводимость результатов при его повторении через определенное время в одинаковых условиях. Стабильность теста зависит от следующих компонентов:

- вида теста;
- контингента испытуемых;
- временного интервала между тестом и ретестом.

Для количественной оценки стабильности используется дисперсионный анализ по той же схеме, что и в случае расчета обычной надежности.

Чтобы оценить надёжность тестов надо выполнить дисперсионный анализ, а затем рассчитать внутриклассовый коэффициент корреляции. С помощью дисперсионного анализа выполняется количественная проверка влияния воздействия внешних факторов на результат. Если данные между двумя и более результатами не коррелируют, то применяют однофакторный (ANOVA) анализ. Общая вариация имеет вид:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{межгр}} + Q_{\text{вн.гр.}}$$

Рассмотрим это на примере времени реакции, зафиксированном при измерении у футболистов и волейболистов (n=24) в тесте «Время реакции» (см. табл. 9).

Таблица 9

Время реакции, мс		
<i>n</i>	Футбол	Волейбол
1	286	265
2	237	257
3	277	292
4	256	264
5	223	273
6	225	265
7	236	283
8	256	258
9	258	287
10	271	265
11	308	263
12	254	250
\bar{X}	257,3	268,5

Источник вариации	$\sum (x_i - \bar{x})^2$	ν	σ^2	F	F _{крит}
Между группами (Q _{межгр})	759,38	1	759,38	1,89	4,3
Внутри групп (Q _{вн.гр.})	8867,25	22	403,06		
Q _{общ}	9626,63	23			

Вычисленное значение меньше $F_{эмп} < F_{крит}$, что говорит об отсутствии вклада специализации в вариацию результатов теста. Численно это значение можно выразить так:

$$\eta = Q_{межгр} / Q_{общ} = 759,38 / 9626,63 \approx 0,08$$

В нашем примере только 8% вариации обусловлено принадлежностью к той или иной спортивной игре.

В то же время при повторных наблюдениях и измерениях на одних и тех же спортсменах сталкиваются с сильной взаимосвязью результатов. В этом случае необходимо применять другой вариант дисперсионного анализа - двухфакторный ANOVA, так как он позволяет учесть взаимодействие межгрупповой, внутригрупповой и остаточной вариаций.

$$Q_{общ} = Q_{межгр} + Q_{вн.гр.} + Q_{ост}$$

Рассмотрим это на примере выпрыгивания вверх юных футболистов (n=12).

Таблица 10

Высота выпрыгивания, см		
n	Тест	Ретест
1	49	47
2	61	68
3	57	56
4	56	60
5	59	62
6	60	64
7	53	58
8	52	55
9	58	58
10	54	54
11	55	59
12	60	64
\bar{X}	56,2	58,8

Корреляция имеет сильную тесноту взаимосвязи $r=0,9$.

Источник вариации	Q	ν	σ^2	F	$F_{крит}$
Между группами ($Q_{межгр}$)	445,46	11	40,5	11,01	2,82
Внутри групп ($Q_{вн.гр.}$)	40,04	1	40,04	10,89	4,84
Остаточная ($Q_{ост}$)	40,46	11	3,68		
Общая ($Q_{общ}$)	525,96	23			

Чтобы оценить надёжность, применим корреляционное отношение:

$$\tilde{\eta} = \frac{\sigma_{\text{внутр}}^2 - \sigma_{\text{совм}}^2}{\sigma_{\text{внутр}}^2 + \left(\frac{k}{k^*} - 1\right)\sigma_{\text{совм}}^2}, \text{ где}$$

$\sigma_{\text{внутр}}^2$ – дисперсия результатов между испытуемыми;

$\sigma_{\text{совм}}^2$ – совместная дисперсия межгрупповая и остаточная

k – число измерений (попыток);

k^* – число измерений, для которых проводится оценка.

Совместная дисперсия $\sigma_{\text{совм}}^2$ определяется

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{совм}}^2 &= \frac{Q_{\text{межгр}} + Q_{\text{ост}}}{(k-1) + (n-1)(k-1)} \\ \sigma_{\text{совм}}^2 &= \frac{445,5 + 40,5}{(2-1) + (12-1)(2-1)} = 37,4 \\ \tilde{\eta} &= \frac{40,04 - 37,4}{40,04 + \left(\frac{2}{2} - 1\right)37,4} = 0,07 \end{aligned}$$

Согласованность теста характеризуется независимостью результатов тестирования от личных качеств лица, проводящего или оценивающего тест. Если результаты спортсменов в тесте, который проводят разные специалисты (эксперты, судьи), совпадают, то это свидетельствует о высокой степени согласованности теста. Это свойство зависит от совпадения методик тестирования у разных специалистов.

Когда создается новый тест, обязательно нужно проверить его на согласованность. Делается это так: разрабатывается унифицированная методика проведения теста, а потом два или более специалиста по очереди в стандартных условиях тестируют одних и тех же спортсменов.

Эквивалентность тестов. Одно и то же двигательное качество (способность, сторону подготовленности) можно измерить с помощью нескольких тестов. Например, максимальную скорость – по результатам пробегания с ходу отрезков в 10, 20 или 30 м. Силовую выносливость – по числу подтягиваний на перекладине, отжиманий в упоре, количеству

подъемов штанги в положении лежа на спине и т. д. Эквивалентность тестов определяется следующим образом: спортсмены выполняют одну разновидность теста и затем после небольшого отдыха – другую и т. д. Если результаты оценок совпадают (например, лучшие в подтягивании оказываются лучшими и в отжимании), то это свидетельствует об эквивалентности тестов. Коэффициент эквивалентности определяется с помощью корреляционного или дисперсионного анализа.

Применение эквивалентных тестов повышает надежность оценки контролируемых свойств моторики спортсменов. Поэтому если нужно провести углубленное обследование, то лучше применить несколько эквивалентных тестов. Такой комплекс называется гомогенным. Во всех остальных случаях лучше использовать гетерогенные комплексы: они состоят из неэквивалентных тестов. Не существует универсальных гомогенных или гетерогенных комплексов. Так, например, для слабо подготовленных людей такой комплекс как бег на 100 и 800 м, прыжок в длину с места, подтягивание на перекладине, будет гомогенным. Для спортсменов высокой квалификации он может оказаться гетерогенным.

До определенной степени надежность тестов может быть повышена путем:

- более строгой стандартизации тестирования;
- увеличения числа попыток;
- увеличения числа оценщиков (судей, экспертов) и повышения согласованности их мнения;
- увеличения числа эквивалентных тестов;
- лучшей мотивации испытуемых;
- метрологически обоснованного выбора технических средств измерений, обеспечивающих заданную точность измерений в процессе тестирования.

Таким образом, тестирование в спорте и физической культуре служит для организации количественного контроля. При этом необходимо иметь в виду, что контроль должен быть комплексным на основе использования батарей надежных и информативных тестов.

§24. Точность измерений

Результат измерений всегда содержит погрешность, величина которой тем меньше, чем точнее метод измерений и измерительный прибор. В задачу биомеханических измерений входит не только нахождение измеряемой величины, но и оценка допущенной погрешности. Различают абсолютную и относительную погрешности измерений. *Абсолютной погрешностью* называется величина $\Delta A = A - A_0$, равная разности между результатом измерения (A) и истинным значением измеряемой величины (A_0). Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах, что и сама измеряемая величина. За истинное значение измеряемой величины обычно принимают результат, полученный более точным методом. Например, при визуальной оценке темпа бега истинное его значение может быть найдено при помощи видеоманитофона. Для этого бег записывают на видеопленку, затем видеозапись воспроизводят и анализируют.

В практической работе часто удобнее пользоваться не абсолютной, а относительной величиной погрешности. Относительная погрешность измерения бывает двух видов: действительная и приведенная.

Действительной относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины (в процентах):

$$A_d = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$$

Если известно максимально возможное или предельное значение измеряемой величины (A_m), то наряду с действительной может быть определена и приведенная относительная погрешность:

$$A_n = \frac{A}{A_m} \times 100\%$$

Эту величину обычно указывают в технической документации измерительной аппаратуры и называют классом точности прибора. Например, если динамометр пригоден для измерения величины силы до 1000 Н и сила при этом измеряется с абсолютной погрешностью в 10 Н, то в паспорте к данному прибору указывается класс его точности, в данном случае 1,0%. Приведенная относительная погрешность (A_n) рассчитывается

как $A_p = (10/1000) \times 100\%$. Таким образом, класс точности данного динамометра - 1,0%.

Погрешности измерения бывают систематическими и случайными. *Систематической* называется погрешность, величина которой не изменяется от измерения к измерению. Например, показания весов для измерения массы тела бывают завышены или занижены.

Из способов устранения систематической погрешности аппаратуры наиболее эффективным является тарировка измерительных приборов. *Тарировкой* называется нанесение шкалы во всем диапазоне возможных значений измеряемой величины. Например, при тарировке динамографической платформы на нее поочередно помещают грузы массой 1,0 кг, 10 кг, 20 кг, 30 кг, 40 кг и более. Возникающие при этом уровни электрического сигнала фиксируются и через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) передаются на компьютер для представления на мониторе в удобной для исследователя форме (таблицы, графики или диаграммы).

Помимо систематических погрешностей, результаты измерений искажаются случайными погрешностями. *Случайные погрешности* могут возникать из-за влияния разнообразных причин, которые невозможно точно учесть или предсказать заранее. Случайные погрешности принципиально неустранимы. Однако, воспользовавшись методами математической статистики, можно количественно оценить величину случайной погрешности и учесть ее, при объяснении результатов измерений.

Одной из разновидностей метрологической оценки могут быть *функциональные пробы* (тесты). Все они должны соответствовать определенным метрологическим требованиям:

- 1) необходимо определить цель применения данного теста;
- 2) должны быть разработаны методика измерения и система оценки результатов тестирования, соответствующие определенным стандартам;
- 3) также требуется определение надежности и информативности тестов.

§25. Информативность теста

Информативность теста — это степень точности, с которой он измеряет свойство (качество, способность, характеристику и т. п.), для оценки которого используется. В литературе до 1980 г. вместо термина «информативность» применялся адекватный ему термин «валидность». В настоящее время информативность подразделяют (классифицируют) на несколько видов. Так, в частности, если тест используется для определения состояния спортсмена в момент обследования, то говорят о диагностической информативности. Если же на основе результатов тестирования хотят сделать вывод о возможных будущих показателях спортсмена, тест должен обладать прогностической информативностью. Тест может быть диагностически информативен, а прогностически нет, и наоборот.

Степень информативности может характеризоваться количественно на основе опытных данных (так называемая эмпирическая информативность) и качественно — на основе содержательного анализа ситуации (содержательная, или логическая, информативность). В этом случае тест называют содержательно или логически информативным на основе мнений экспертов-специалистов.

Факторная информативность — одна из очень частых моделей теоретической информативности. Информативность тестов по отношению к скрытому критерию, который искусственно составляется из их результатов, определяется на основе показателей батареи тестов при помощи факторного анализа. Факторная информативность связана с понятием размерности тестов в том смысле, что число факторов вынужденно определяет и число скрытых критериев. При этом размер тестов зависит не только от числа оцениваемых двигательных способностей, но и от остальных свойств моторного теста. Когда это влияние можно частично исключить, то факторная информативность остается подвижным модельным приближением теоретической или конструктивной информативности, то есть валидности моторных тестов к двигательным способностям.

Простую или сложную информативность различают по числу тестов, для которых выбран критерий, то есть для одного или двух и более тестов. С вопросами взаимного отношения простой и сложной информативности тесно связаны следующие три вида информативности. Чистая информативность выражает степень повышения сложной информативности батареи тестов, когда данный тест включают в батарею тестов более высокого порядка.

Параморфная информативность выражает внутреннюю информативность теста в рамках прогноза одаренности к определенной деятельности. Она определяется специалистами-экспертами с учетом профессиональной оценки одаренности. Ее можно определить как скрытую (для специалистов - «интуитивную») информативность отдельных тестов.

Очевидная информативность в значительной степени связана с содержательной и показывает, насколько очевидно содержание тестов для тестируемых лиц. Она связана с мотивацией испытуемых. Информативность внутренняя или внешняя возникает в зависимости от того, определяется ли информативность теста на основе сравнения с результатами других тестов или на основе критерия, который по отношению к данной батарее тестов является внешним.

Абсолютная информативность касается определения одного критерия в абсолютном понимании, без привлечения каких-либо других критериев.

Дифференциальная информативность характеризует взаимные различия между двумя или более критериями. Например, при выборе спортивных талантов может встретиться ситуация, когда тестируемый проявляет способности к двум разным спортивным дисциплинам. При этом нужно решить вопрос, к какой из этих двух дисциплин он наиболее способен.

В соответствии с временным интервалом между измерением (тестированием) и определением результатов критерия различают два вида информативности - синхронную и диахронную. *Диахронная информативность*, или информативность к неодновременным критериям, может иметь две формы. Одной из них является случай, когда критерий измеряется раньше, чем тест - ретроспективная информативность. Если говорить об оценке подготовленности

спортсменов, то наиболее информативным показателем является результат в соревновательном упражнении. Однако он зависит от большого количества факторов, и один и тот же результат в соревновательном упражнении могут показывать люди, заметно отличающиеся друг от друга по структуре подготовленности. Например, спортсмен с отличной техникой плавания и относительно невысокой физической работоспособностью и спортсмен со средней техникой, но с высокой работоспособностью будут соревноваться одинаково успешно (при прочих равных условиях).

Для выявления ведущих факторов, от которых зависит результат в соревновательном упражнении, и используются информативные тесты. Но как узнать меру информативности каждого из них? Например, какие из перечисленных тестов информативны при оценке подготовленности теннисистов: время простой реакция, время реакции выбора, прыжок вверх с места, бег на 60 м? Для ответа на эти вопросы необходимо знать методы определения информативности. Их два: логический (содержательный) и эмпирический.

Логический метод определения информативности тестов. Суть этого метода определения информативности заключается в логическом (качественном) сопоставлении биомеханических, физиологических, психологических и других характеристик критерия и тестов. Предположим, что мы хотим подобрать тесты для оценки подготовленности высококвалифицированных бегунов на 400 м. Расчеты показывают, что в этом упражнении при результате 45 с примерно 72% энергии поставляется за счет анаэробных механизмов энергопродукции и 28 % – за счет аэробных. Следовательно, наиболее информативными будут тесты, позволяющие выявить уровень и структуру анаэробных возможностей бегуна: бег на отрезках 200—300 м с максимальной скоростью, прыжки с ноги на ногу в максимальном темпе на дистанции 100-200 м, повторный бег на отрезках до 50 м, с очень короткими интервалами отдыха. Как показывают клинико-биохимические исследования, по результатам этих заданий можно судить о мощности и емкости анаэробных источников энергии и, следовательно, их можно использовать в качестве информативных тестов.

Приведенный выше простой пример имеет ограниченное значение, так как в циклических видах спорта логическая информативность может быть проверена экспериментально. Чаще всего логический метод определения информативности используется в таких видах спорта, где нет четкого количественного критерия. Например, в спортивных играх логический анализ фрагментов игры позволяет вначале сконструировать специфический тест, а затем проверить его информативность.

Эмпирический метод определения информативности тестов при наличии измеряемого критерия. Ранее говорилось о важности использования единичного логического анализа для предварительной оценки информативности тестов. Эта процедура позволяет отсеять заведомо неинформативные тесты, структура которых мало соответствует структуре основной деятельности спортсменов или физкультурников. Остальные тесты, содержательная информативность которых признана высокой, должны пройти дополнительную эмпирическую проверку. Для этого результаты теста сопоставляют с критерием. В качестве критерия обычно используют

- 1) результат в соревновательном упражнении;
- 2) наиболее значимые элементы соревновательных упражнений;
- 3) результаты тестов, информативность которых для спортсменов данной квалификации была установлена ранее;
- 4) сумму очков, набранную спортсменом при выполнении комплекса тестов;
- 5) квалификацию спортсменов.

При использовании первых четырех критериев общая схема определения информативности теста следующая.

I. Измеряются количественные значения критериев. Для этого необязательно проводить специальные соревнования. Можно, например, использовать результаты ранее прошедших соревнований. Важно только, чтобы соревнование и тестирование не были разделены длительным временным промежутком. Если в качестве критерия предполагается использовать какой-либо элемент соревновательного упражнения, необходимо, чтобы он был наиболее информативным.

Рассмотрим методику определения информативности показателей соревновательного упражнения на следующем примере [15]. На чемпионате страны по лыжным гонкам на дистанции 15 км, на подъеме крутизной 7° регистрировали длину шагов и скорость бега. Полученные значения сравнили с местом, занятым спортсменом на соревнованиях (таб. 11).

Таблица 11

Соотношения между результатами в лыжной гонке на 15 км, длиной шагов и скоростью на подъеме (по 15)

Длина шага, м	Скорость, м/с	Место в гонке	Ранги		Длина шага, м	Скорость, м/с	Место в гонке	Ранги	
			длины шагов	м/с				Длины шагов	м/с
2,19	3,84	4-е	2	2	2,05	3,79	3	5	4
2,02	3,73	7-е	7	6	2,17	3,81	2	3	3
2,20	3,93	1-е	1	1	2,02	3,73	6	6	5
2,07	3,63	5-е	4	7	1,89	3,57	8	8	8

Уже визуальная оценка ранжированных рядов указывает, что высоких результатов на соревнованиях добились спортсмены с большей скоростью на подъеме и с большей длиной шага. Проведение корреляционного анализа подтверждает это: коэффициент корреляции между местом на соревнованиях и длиной шага $r_s = 0,88$; между местом на соревнованиях и скоростью на подъеме – $0,86$. Следовательно, оба эти показателя обладают высокой информативностью. Необходимо отметить, что их значения также взаимосвязаны: коэффициент корреляции длины шага и скорости бега на подъеме $r = 0,86$. Значит, длина шага и скорость бега на подъеме – эквивалентные тесты, и для контроля соревновательной деятельности лыжников можно использовать любой из них.

II. Следующий шаг – проведение тестирования и оценка его результатов.

III. Последний этап работы – вычисление коэффициентов корреляции между значениями критерия и тестов. Полученные в ходе расчетов наибольшие коэффициенты корреляции будут указывать на высокую информативность тестов.

Эмпирический метод определения информативности тестов при отсутствии единичного критерия. Эта ситуация наиболее типична для массовой физической культуры, где единичного критерия либо нет, либо форма его представления не позволяет использовать описанные выше методы для определения информативности тестов. Предположим, что нам необходимо составить комплекс тестов для контроля физической подготовленности студентов. С учетом того, что студентов в стране сотни тысяч и такой контроль должен быть массовым, к тестам предъявляются определенные требования: они должны быть просты по технике, выполняться в простейших условиях и иметь несложную и объективную систему измерений. Таких тестов сотни, но нужно выбрать наиболее информативные.

Сделать это можно следующим способом: 1) отобрать несколько десятков тестов, содержательная информативность которых кажется бесспорной; 2) с их помощью оценить уровень развития физических качеств у группы студентов; 3) обработать полученные результаты на компьютере, используя для этого факторный анализ.

В основе этого метода лежит положение о том, что результаты множества тестов зависят от сравнительно небольшого количества причин, которые для удобства названы факторами. Например, результаты в прыжке в длину с места, метании гранаты, подтягивании, жиме штанги предельного веса, в беге на 100 и 5000 м зависят от выносливости, силовых и скоростных качеств. Однако вклад этих качеств в результат каждого из упражнений неодинаков. Так, результат в беге на 100 м сильно зависит от скоростно-силовых качеств и немного – от выносливости, жим штанги – от максимальной силы, подтягивание – от силовой выносливости и т. д.

Кроме того, результаты некоторых из этих тестов взаимосвязаны, так как в их основе лежит проявление одних и тех же качеств. Факторный же анализ позволяет, во-первых, сгруппировать тесты, имеющие общую качественную основу, и, во-вторых (и это самое главное), определить их удельный вес в этой группе. Тесты с наибольшим факторным весом считаются самыми информативными. Пример использования такого подхода в отечественной практике представлен в работе В.М. Зациорского [15]. Было обследовано 108 студентов по 15 тестам.

С помощью факторного анализа удалось выявить три наиболее важных для этой группы испытуемых фактора: 1) сила мышц верхних конечностей; 2) сила мышц нижних конечностей; 3) сила мышц брюшного пресса и сгибателей бедра. По первому фактору наибольший вес имел тест – отжимание в упоре, по второму – прыжок в длину с места, по третьему – поднимание прямых ног в висе и переходы в сед из положения лежа на спине в течение 1 минуты. Эти четыре теста из 15 обследованных и были наиболее информативными.

При оценке информативности конкретного теста необходимо учитывать факторы в значительной степени влияющие на величину коэффициента информативности.

Глава VII. Интегральная оценка спортивных результатов и тестов

Как правило, любая программа комплексного контроля предполагает использование не одного, а нескольких тестов. Так, комплекс для контроля подготовленности спортсменов включает следующие тесты: время бега на тредбане, частоту сердечных сокращений, максимальное потребление кислорода, максимальную силу и т. д. Если для контроля используется один тест, то оценивать его результаты с помощью специальных методов нет необходимости: и так видно, кто сильнее и насколько. Если же тестов много и они измеряются в разных единицах (например, сила - в кГс или Н; время - в с; МПК - в мл/кг/мин; ЧСС - в уд/мин и т.д.), то сравнить достижения по абсолютным значениям показателей невозможно. Решить эту проблему можно лишь в том случае, если результаты тестирования представить в виде оценок (очков, баллов, отметок, разрядов и т. п.). На итоговую оценку квалификации спортсменов оказывают влияние возраст, состояние здоровья, экологические и другие особенности условий проведения контроля. С получением результатов измерения или тестирования контрольное испытание спортсмена не заканчивается. Необходимо дать оценку полученным результатам.

Оценкой (или педагогической оценкой) называется унифицированная мера успеха в каком-либо задании, в частном случае - в тесте. Различают учебные оценки, которые выставляет преподаватель ученикам по ходу учебного процесса, и квалификационные, под которыми понимаются все прочие виды оценок (в частности, результаты официальных соревнований, тестирования и др.).

Процесс определения (выведения, расчета) оценок состоит из следующих стадий:

- 1) подбирается шкала, с помощью которой возможен перевод результатов теста в оценки (очки или баллы);
- 2) в соответствии с выбранной шкалой результаты теста преобразуются в очки (баллы);
- 3) полученные очки сравниваются с нормами, и выводится итоговая оценка. Она и характеризует уровень подготовленности

спортсмена относительно других членов группы (команды, коллектива).

Не во всех случаях оценивание происходит по развернутой схеме. Иногда промежуточное и итоговое оценивания сливаются. Задачи, которые решаются в ходе оценивания, многообразны. Среди них можно выделить основные:

- 1) по результатам оценивания необходимо сопоставить разные достижения в соревновательных упражнениях. На базе этого можно создать научно обоснованные разрядные нормы в видах спорта. Следствием заниженных норм является увеличение числа разрядников, недостойных этого звания. Завышенные же нормы становятся для многих недостижимыми и вынуждают людей прекращать занятия спортом;
- 2) сопоставление достижений в разных видах спорта позволяет решить задачу равенства и их разрядных норм (несправедлива ситуация, если, предположим, в волейболе легко выполнить норму I разряда, а в легкой атлетике – трудно);
- 3) необходимо классифицировать множество тестов по результатам, которые показывает в них конкретный спортсмен;
- 4) следует установить структуру тренированности каждого из спортсменов, подвергшихся тестированию.

Перевести результаты тестирования в баллы можно разными способами. На практике для этого часто используют ранжирование, или упорядочение зарегистрированного ряда измерений. Пример такого ранжирования приведен в табл. 12.

Таблица 12

Ранжирование результатов тестов

Тесты и оценки	Спортсмены									
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
1. Бег на 30 м, с	4,8	4,9	4,3	5,1	5,0	5,3	4,7	5,5	5,1	4,9
2. Подтягивание, кол-во	18	11	14	26	25	13	19	12	17	16
Ранги 1-го теста	3	4,5	1	7,5	6	9	2	10	7,5	4,5
Ранги 2-го теста	4	10	7	1	2	8	3	9	5	6
Суммарный ранг	7	14,5	8	8,5	8	17	5	19	12,5	10,5
Место в группе	2	8	3-4	5	3-4	9	1	10	7	6

Из таблицы видно, что лучший результат оценивается в 1 балл, а каждый последующий — на балл больше. При всей простоте и удобстве такого подхода его несправедливость очевидна. Если взять бег на 30 м, то различия между 1-м и 2-м местом (0,4 с) и между 2-м и 3-м (0,1 с) оцениваются одинаково - в 1 балл. Точно так же и в оценке подтягивания: разница в одно повторение и в семь оценивается одинаково. Оценка проводится для того, чтобы стимулировать спортсмена на достижение максимальных результатов. Но при описанном выше подходе спортсмен А, подтянувшись на 6 раз больше, получит столько же баллов, сколько и за прибавку в одно повторение. С учетом всего сказанного преобразование результатов тестирования и оценки нужно проводить не с помощью ранжирования, а использовать для этого специальные шкалы. Закон преобразования спортивных результатов в очки называется *шкалой оценок*.

§26. Равномерные шкалы

Шкала может быть задана в виде математического выражения (формулы), таблицы или графика. Первая — пропорциональная шкала. При ее использовании равные приросты результатов в тесте поощряются равными приростами в баллах. Так, в этой шкале уменьшение времени бега на 0,1 с оценивается в 20 очков. Их получит спортсмен, пробежавший 100 м за 12,8 с, и пробежавший эту же дистанцию за 12,7 с, и спортсмен, улучшивший свой результат с 12,1 до 12 с. Пропорциональные шкалы приняты в современном пятиборье, конькобежном спорте, гонках на лыжах, лыжном двоеборье, биатлоне и других видах спорта.

Второй тип — прогрессирующая шкала. Здесь равные приросты результатов оцениваются по-разному. Чем выше абсолютные приросты, тем больше приставка в оценке. Так, за улучшение результата в беге на 100 м с 12,8 до 12,7 с дается 20 очков, с 12,7 до 12,6 с — 30 очков. Прогрессирующие шкалы применяются в плавании, отдельных видах легкой атлетики, тяжелой атлетике.

Третий тип — регрессирующая шкала. В этой шкале, как и предыдущей, равные приросты результатов в тестах также

оцениваются по-разному, но чем выше абсолютный прирост, тем меньше прибавка в оценке. Так, за улучшение результата в беге на 100 м с 12,8 до 12,7 с дается 20 очков, с 12,7 до 12,6 с — 18 очков ... с 12,1 до 12,0 с — 4 очка. Шкалы такого типа приняты в некоторых видах легкоатлетических прыжков и метаний.

Четвертый тип - ситовидная (или S-образная) шкала. Здесь выше всего оцениваются приросты в средней зоне, а улучшение очень низких или очень высоких результатов поощряется слабо. Так, за улучшение результата с 12,8 до 12,7с и с 12,1 до 12,0 с начисляется по 10 очков, а с 12,5 до 12,4 с — 30 очков. В спорте такие шкалы не используются, но они применяются при оценке физической подготовленности. Например, так выглядит шкала стандартов физической подготовленности населения США.

Каждая из этих шкал имеет как свои достоинства, так и недостатки. Устранить последние и усилить первые можно правильно применяя ту или иную шкалу. Оценка как унифицированный измеритель спортивных результатов может быть эффективной, если она справедлива и с пользой применяется в практике. А это зависит от критериев, на основе которых оцениваются результаты. При выборе критериев следует иметь в виду такие вопросы:

1) Какие результаты должны быть положены в нулевую точку шкалы?

2) Как оценивать промежуточные и максимальные достижения?

Целесообразно использование следующих критериев:

1. Равенство временных интервалов, необходимых для достижения результатов, соответствующих одинаковым разрядам в разных видах спорта. Естественно, что это возможно лишь в том случае, если содержание и организация тренировочного процесса в этих видах спорта не будут резко отличаться.

2. Равенство объемов нагрузок, которые необходимо затратить на достижение одинаковых квалификационных норм в разных видах спорта.

3. Равные соотношения между числом спортсменов, выполнивших разрядные нормы в разных видах спорта.

В практике для оценок результатов тестирования используется несколько шкал.

Некоторые стандартные шкалы [цит. по 15]

Название шкалы	Основная формула	Где и для чего используется
С-шкала	$C=5 + 2*Z$	При массовых обследованиях, когда не требуется большой точности
Шкала школьных отметок	$H=3-Z$	В ряде стран Европы
Шкала Бине	$B= 100 + 16 *Z$	При психологических исследованиях интеллекта
Экзаменационная шкала	$T=500 + 100 *Z$	В США при приеме в высшее учебное заведение

Оценка комплекса тестов. Существует два основных варианта оценки результатов тестирования спортсменов по комплексу тестов. Первый заключается в выведении обобщенной оценки, которая информативно характеризует подготовленность спортсмена в соревнованиях. Это позволяет использовать ее для прогноза: рассчитывается уравнение регрессии, решив которое, можно предсказать результат в соревновании по сумме баллов за тестирование.

Однако просто суммировать результаты конкретного спортсмена по всем тестам не совсем правильно, так как сами тесты неравнозначны. Например, из двух тестов (времени реагирования на сигнал и времени удержания максимальной скорости бега) второй более важен для спринтера, чем первый. Эту важность (весомость) теста можно учитывать тремя способами:

1. Дается экспертная оценка. В этом случае специалисты договариваются, что одному из тестов (например, времени удержания t_{\max}) приписывается коэффициент 2. И тогда очки, начисленные по этому тесту, вначале удваиваются, а затем суммируются с очками за время реакции.

2. Коэффициент каждому тесту устанавливается на основе факторного анализа. Он, как известно, позволяет выделить показатели с большим или меньшим факторным весом.

3. Количественной мерой весомости теста может быть значение коэффициента корреляции, рассчитанного между его результатом и достижением в соревнованиях.

Во всех этих случаях полученные оценки называются «взвешенными».

Второй вариант оценки результатов комплексного контроля заключается в построении «профиля» спортсмена — графической формы представления результатов тестирования. Линии графиков наглядно отражают сильные и слабые стороны подготовленности спортсменов.

Нормы — основы сравнения результатов. Нормой в спортивной метрологии называется граничная величина результата теста, на основе которой производится классификация спортсменов.

Есть официальные нормы: разрядные в Единой всероссийской спортивной классификации - ЕВСК, в прошлом - в комплексе ГТО. Используются и неофициальные нормы: их устанавливают тренеры или специалисты в области спортивной тренировки для классификации спортсменов по каким-либо качествам (свойствам, способностям).

Существует три вида норм: а) сопоставительные; б) индивидуальные; в) должные.

Сопоставительные нормы устанавливаются после сравнения достижений людей, принадлежащих к одной и той же совокупности. Процедура определения сопоставительных норм такова: 1) выбирается совокупность людей (например, студенты гуманитарных вузов); 2) определяются их достижения в комплексе тестов; 3) определяются средние величины и стандартные (среднеквадратические) отклонения; 4) значение $\bar{x} \pm 0,5\sigma$ принимается за среднюю норму, а остальные градации (низкая — высокая, очень низкая — очень высокая) — в зависимости от коэффициента при стандартном отклонении. Например, значение результата в тесте свыше $\bar{x} + 2\sigma$ считается «очень высокой» нормой.

Индивидуальные нормы основаны на сравнении показателей одного и того же спортсмена в разных состояниях. Эти нормы имеют исключительно важное значение для индивидуализации тренировки во всех видах спорта. Необходимость их определения возникла вследствие существенных различий в структуре тренированности спортсменов.

Градация индивидуальных норм устанавливается с помощью тех же статистических процедур. За среднюю норму здесь можно принимать показатели тестов, соответствующие среднему результату в соревновательном упражнении. Индивидуальные нормы широко используются в текущем контроле.

Должные нормы устанавливаются на основании требований, которые предъявляют человеку условия жизни, профессия, необходимость подготовки к защите Родины. Поэтому во многих случаях они опережают действительные показатели. В спортивной практике *должные нормы* устанавливаются так: 1) определяются информативные показатели подготовленности спортсмена; 2) измеряются результаты в соревновательном упражнении и соответствующие им достижения в тестах; 3) рассчитывается уравнение регрессии типа $y = kx + b$, где x — результат, который должен спортсмен показать в тесте на данном этапе подготовки, а y — прогнозируемый результат в соревновательном упражнении. *Должные результаты* в тесте и являются *должной нормой*. Ее необходимо достичь, и только тогда можно будет показать запланированный в соревнованиях результат.

Пригодность норм. Нормы составляются для определенной группы людей и пригодны только для этой группы. Например, по данным болгарских специалистов, норма в метании мяча массой 80 г для десятилетних детей, проживающих в Софии, — 28,7 м, в других городах — 30,3 м, в сельской местности — 31,6 м. Такая же ситуация и в нашей стране: нормы, разработанные в Прибалтике, не годятся для центра России и тем более для Средней Азии. Пригодность норм только для той

совокупности, для которой они разработаны, называется *релевантностью норм*.

Опыт показывает, что у мальчиков 12 лет велики различия в длине тела: 130-170 см. Чем выше рост, тем больше, как правило, и длина ног. Поэтому в беге на 60 м при одной и той же частоте шагов высокие дети будут показывать меньшее время.

Возрастные нормы с учетом биологического возраста и особенностей телосложения. Показатели биологического (двигательного) возраста человека лишены недостатков, свойственных показателям паспортного возраста: их значения соответствуют среднему календарному возрасту людей. В табл. 14 представлен двигательный возраст по результатам двух тестов.

Таблица 14

Двигательный возраст мальчиков по результатам прыжка в длину с разбега и метанию мяча (80 г)

Возраст, лет	Результаты, м	
	Прыжок	Метание мяча
7	1,98	18
8	2,27	23
9	2,54	25
10	2,76	29
11	3,00	33
12	3,23	36
13	3,42	39

Другая характеристика норм — *репрезентативность*. Она отражает их пригодность для оценки всех людей из генеральной совокупности (например, для оценки физического состояния всех первоклассников какого-нибудь города). Репрезентативными могут быть только нормы, полученные на типичном материале.

Третья характеристика норм – их *современность*. Известно, что результаты в соревновательных упражнениях и тестах постоянно растут и пользоваться нормами, разработанными давно, не рекомендуется. Некоторые нормы, установленные много лет назад, воспринимаются сейчас как наивные, хотя в

свое время они отражали действительную ситуацию, характеризующую средний уровень физического состояния человека.

§27. Стандартные шкалы

В основе стандартных шкал лежит пропорциональная шкала, а свое название она получила потому, что масштаб в ней служит стандартное (среднеквадратическое) отклонение.

В практике используются и другие стандартные шкалы.

Перцентильная шкала. В основе этой шкалы лежит следующая операция: каждый спортсмен из группы получает за свой результат (в соревнованиях или в тесте) столько очков, сколько процентов спортсменов он опередил. Таким образом, оценка победителя - 100 очков, оценка последнего - 0 очков. Перцентильная шкала наиболее пригодна для оценки результатов больших групп спортсменов. В таких группах статистическое распределение результатов нормальное (или почти нормальное). Это значит, что очень высокие и очень низкие результаты показывают единицы из группы, а средние — большинство.

Главное достоинство такой шкалы - простота, здесь не нужны формулы, а единственное, что нужно вычислить - какое количество результатов спортсменов укладывается в один перцентиль (или сколько перцентилей приходится на одного человека). Перцентиль — это интервал шкалы. При 100 спортсменах в одном перцентиле — один результат; при 50 — один результат укладывается в два перцентилля (то есть, если спортсмен обошел 30 человек, он получает 60 очков).

Простота обработки результатов и наглядность перцентильной шкалы обусловили ее широкое применение в практике.

Шкалы выбранных точек. При разработке таблиц по видам спорта не всегда удается получить статистическое распределение результатов теста. Тогда поступают следующим образом: берут какой-нибудь высокий спортивный результат

(например, мировой рекорд или 10-й результат в истории данного вида спорта) и приравнивают его, скажем, к 1000 или 1200 очкам. Затем на основе результатов массовых испытаний определяют среднее достижение группы слабо подготовленных лиц и приравнивают его, скажем, к 100 очкам. После этого, если используется пропорциональная шкала, остается выполнить лишь арифметические вычисления — ведь две точки однозначно определяют прямую линию. Шкала, построенная таким образом, называется шкалой выбранных точек.

Последующие шаги для построения таблиц по видам спорта – выбор шкалы и установление межклассовых интервалов – пока научно не обоснованы, и здесь допускается определенный субъективизм, основанный на личном мнении специалистов, поэтому многие спортсмены и тренеры почти во всех видах спорта, где применяются таблицы очков, считают их не вполне справедливыми.

Параметрические шкалы. В видах спорта циклического характера и в тяжелой атлетике результаты зависят от таких параметров как длина дистанции и масса спортсмена. Эти зависимости называют параметрическими. Можно найти параметрические зависимости, которые являются геометрическим местом точек эквивалентных достижений. Шкалы, построенные на основе этих зависимостей, называются параметрическими и относятся к числу наиболее точных.

Шкала ГЦОЛИФКа. Рассмотренные выше шкалы используются для оценки результатов группы спортсменов, и цель их применения заключается в определении межиндивидуальных различий (в баллах). В практике спорта тренеры постоянно сталкиваются с еще одной проблемой – необходимостью оценки результатов периодического тестирования одного и того же спортсмена в разные периоды цикла или этапа подготовки. Для этой цели предложена шкала ГЦОЛИФКа, представленная следующей формулой:

$$\text{Очки} = 100 \times \left(1 - \frac{\text{лучший результат} - \text{оцениваемый результат}}{\text{лучший результат} - \text{худший результат}} \right)$$

Смысл такого подхода заключается в том, что результат теста рассматривается не как отвлеченная величина, а во взаимосвязи с лучшим и худшим результатами, показанными в этом тесте спортсменом. Лучший результат всегда оценивается в 100 очков, худший — в 0 очков. Эту шкалу целесообразно применять для оценки вариативных показателей.

На практике используются и другие стандартные шкалы.

§28. Равновероятностные шкалы

Здесь предлагается подход, основанный на переводе физических величин в балльную систему. В нём применяется 12-ти балльная шкала, построенная на идее использования правила трёх сигм из теории вероятности, и применении выборочного стандартного отклонения соответствующей величины. Равновероятностная шкала предполагает разбиение на примерно равные отрезки, выраженные в нормированном масштабе через σ – выборочное стандартное отклонение. Пример такой шкалы приведён в таблицах ниже.

Для равномерной шкалы последовательность действий такова:

1. Определяем на сколько сигм (σ) результаты спортсмена в каждом из предложенных тестов отклоняются от соответствующих среднегрупповых величин: $z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$, где x – результат испытуемого; \bar{x} – выборочная средняя значений; σ – выборочное стандартное отклонение.

В зависимости от величины отклонения, выраженной в сигмах, каждый результат в тесте оценивается в баллах от 0 до 11. Баллы суммируются, и получаем интегральную оценку уровня физической подготовленности спортсмена.

Спортсмен, набравший самую большую сумму баллов, получает первое рейтинговое место, со второй суммой – второе и т. д.

При равенстве баллов в тесте или итоговой суммы баллов у двух и более испытуемых им присваивается один общий ранг, равный среднему арифметическому соответствующих возможных мест.

В данном способе уровень физической подготовленности каждого спортсмена оценивается относительно среднегрупповых значений. Результат в каждом тесте переводится в безразмерные баллы, которые затем суммируются, и на основании этой суммы определяется рейтинг спортсмена в группе. Нельзя сравнивать суммы баллов спортсменов из разных групп, так как они рассчитаны на основании разных средних величин и разных стандартных отклонений. Для такого сравнения необходимо, чтобы все расчеты были выполнены с использованием одних и тех же средних значений. Данный способ можно успешно использовать при длительном наблюдении постоянной по составу группы спортсменов. При повторных тестированиях изменения рейтингов внутри группы будет свидетельствовать об изменении уровня физической подготовленности спортсменов относительно друг друга. Если среднегрупповые показатели остаются неизменными, а сумма баллов у отдельного спортсмена увеличивается, либо среднегрупповые показатели увеличиваются, а сумма показателей спортсмена остается прежней, то это свидетельствует о росте физической подготовленности данного атлета.

Динамику результатов тестирования можно проследить, подсчитав сумму баллов повторных обследований на основании старых (базовых, начальных) средних величин. При этом можно количественно (в %) оценить произошедшие изменения.

Перевод в баллы будет зависеть от характера изменения случайной величины. При прямой зависимости ранжирования и результатов (высота прыжка, сила кистей рук, и т. д.) предлагаем шкалу, приведенную в табл. 15, а при обратной зависимости (время бега, время реакции и т. д.) – в табл. 16.

Таблица 15

Шкала оценок в баллах при прямой зависимости

Число сигм, Z	$< -2,5$	$-2,5 \leq z < -2$	$-2 \leq z < -1,5$	$-1,5 \leq z < -1$	$-1 \leq z < -0,5$	$-0,5 \leq z < 0$	$0 \leq z < 0,5$	$0,5 \leq z < 1$	$1 \leq z < 1,5$	$1,5 \leq z < 2$	$2 \leq z < 2,5$	$\geq 2,5$
Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Шкала оценок в баллах при обратной зависимости

Число сигм, Z	<-2,5	-2,5≤z<-2	-2≤z<-1,5	-1,5 z<-1	-1 z<-0,5	-0,5 z<0	0 z<0,5	0,5 z<1	1 z<1,5	1,5 z<2	2 z<2,5	≥2,5
Баллы	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Действие этого способа проследим на примере двух юных хоккеистов, возможно, будущих игроков команды «Локомотив» (см. табл. 5 монографии В.В. Афанасьева) [4].

В общем рейтинге они заняли 1-2 место, набрав одинаковое количество баллов. Проследим, как получился этот результат. В первом тесте (ЖИ) выборочная средняя составила 63,59 см³/кг, а стандартное отклонение – ±8,71.

Находим:

$$Z_1=(76,6-63,59)/8,71\approx 1,49;$$

$$Z_2=(80,8-63,59)/8,71\approx 1,97$$

Таким образом, получившиеся результаты каждого испытуемого отклоняются на 1,49 и 1,97 сигм от средней. По представленной в табл. 15 шкале оценок находим, что в тесте ЖИ ребята получили 8 и 9 баллов соответственно.

Как было отмечено ранее, среди физических качеств и способностей, определяющих достижение высоких спортивных результатов, существуют так называемые консервативные, генетически обусловленные качества и способности, которые с большим трудом поддаются развитию и совершенствованию в процессе тренировки. Эти физические качества и способности имеют важное прогностическое значение при отборе детей и подростков в спортивные школы. К их числу следует отнести быстроту, относительную силу, некоторые антропометрические показатели (строение и пропорции тела), способность к максимальному потреблению кислорода, экономичность функционирования сердечнососудистой системы организма, некоторые психологические особенности личности спортсмена.

На наш взгляд, прыжок вверх с места и теппинг-тест в рассматриваемом нами примере как раз и отражают эти генетически заложенные предпосылки.

Найдем балловые величины для этих двух тестов. Выборочная средняя в первом тесте – 22,54 см, $\sigma=4,67$, таким образом:

$$Z_1=(30,0-22,54)/4,67\approx 1,60, \text{ что соответствует 9 баллам,}$$

$$Z_2=(25,0-22,54)/4,67\approx 0,53, \text{ – 7 баллам.}$$

Выборочная средняя в теппинг-тесте – 3,43 с⁻¹, а сигма равна 0,42, произведя расчеты, получаем:

$$Z_1=(3,5-3,43)/0,42\approx 0,17, \text{ что соответствует 6 баллам,}$$

$$Z_2=(3,9-3,43)/0,42\approx 1,12 \text{ – 8 баллам.}$$

Сумма баллов по этим двум тестам одинакова у обоих юных спортсменов (9+6=7+8=15), это косвенно подтверждает высказанную ранее мысль о возможных вариантах компенсаций. Добавление показателя теста ЖИ также незначительно изменит ситуацию (разница составит 1 балл).

И здесь закономерно возникает вопрос: рекомендовать или нет углубленную специализацию «Хоккей», и если да, то кому, одному или обоим? В поисках выхода можно условно, в убывающем порядке, расположить значимость тестов для данного вида спорта, устанавливаемых ведущими экспертами в этой области. Далее, просматривая динамику изменений при помощи различных методов статистического анализа (например, факторный, корреляционный, дисперсионный), сопоставить её с динамикой спортивных результатов.

Кроме того, проведенный корреляционный анализ выявил достаточно тесную взаимосвязь (см. рис. 34) рейтинга и балловой оценки в прыжке ($r=-0,67$; $\alpha<0,01$) и рейтинг а и балловой оценки (рис. 35) в теппинг-тесте ($r=-0,73$; $\alpha<0,01$). Выявленная закономерность подтверждает действенность предлагаемой нами методики.

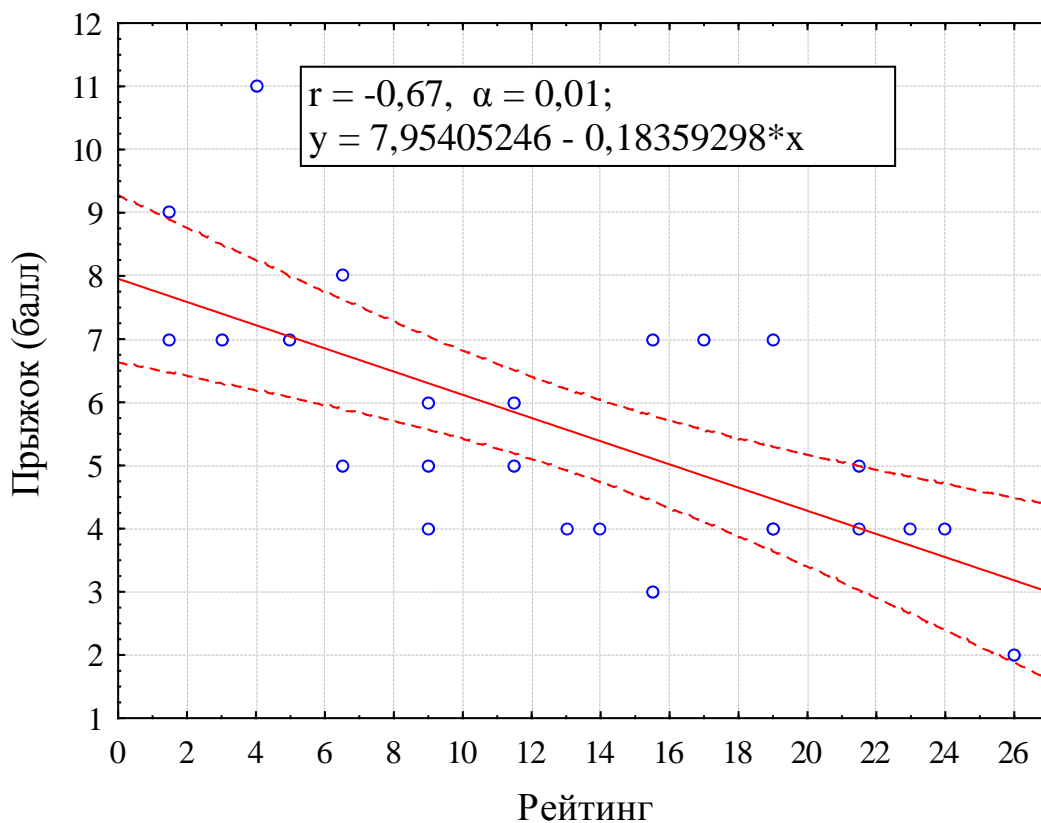


Рис. 34. Корреляция рейтинга и оценки в прыжке вверх у юных футболистов

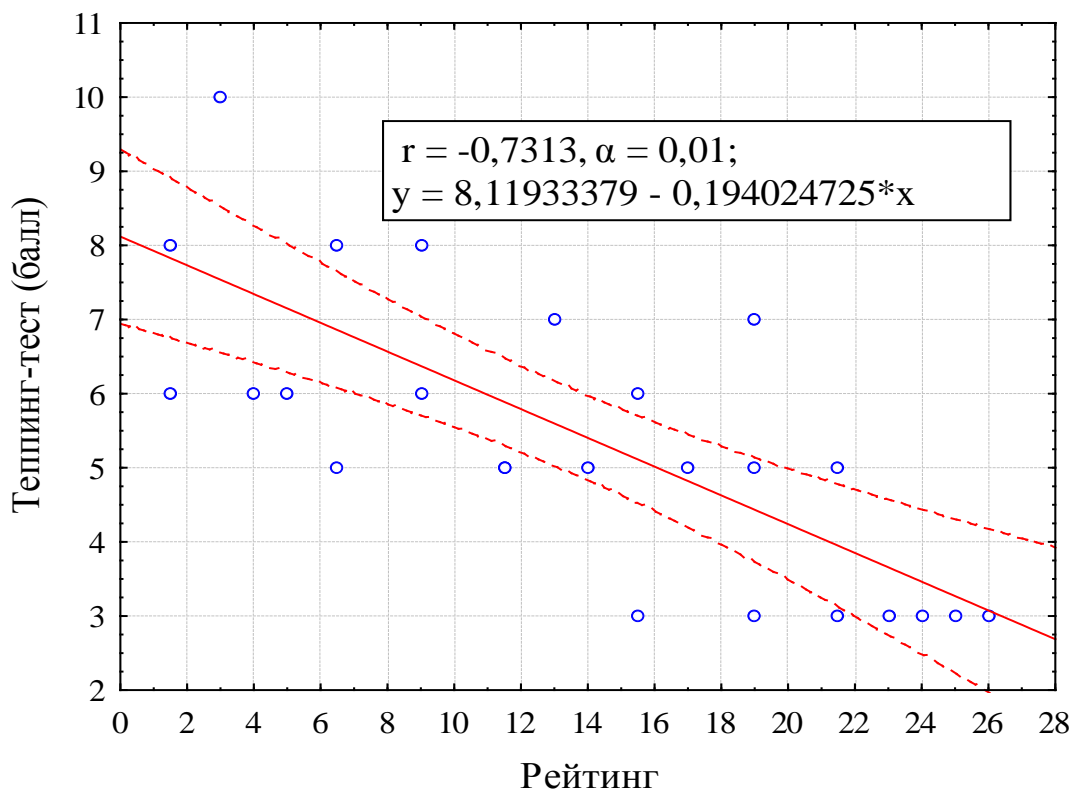


Рис. 35. Корреляция рейтинга и теппинг-теста у юных хоккеистов

Равновероятностная шкала

Предлагаемый подход в применении равномерной шкалы можно логично трансформировать в более точный, если проверить выборку на нормальность распределения. В этом случае предлагается использовать разбивку распределений случайной величины вправо и влево от выборочной средней на равновероятностные интервалы (два по $0,2\sigma$, два по $0,3\sigma$, один в $0,4\sigma$, и один от $1,4$ до $+\infty$). Каждый из этих интервалов будет содержать примерно 8-10% всей выборки. Для наглядности плотность распределения покажем в графической форме и шкала примет следующий вид:

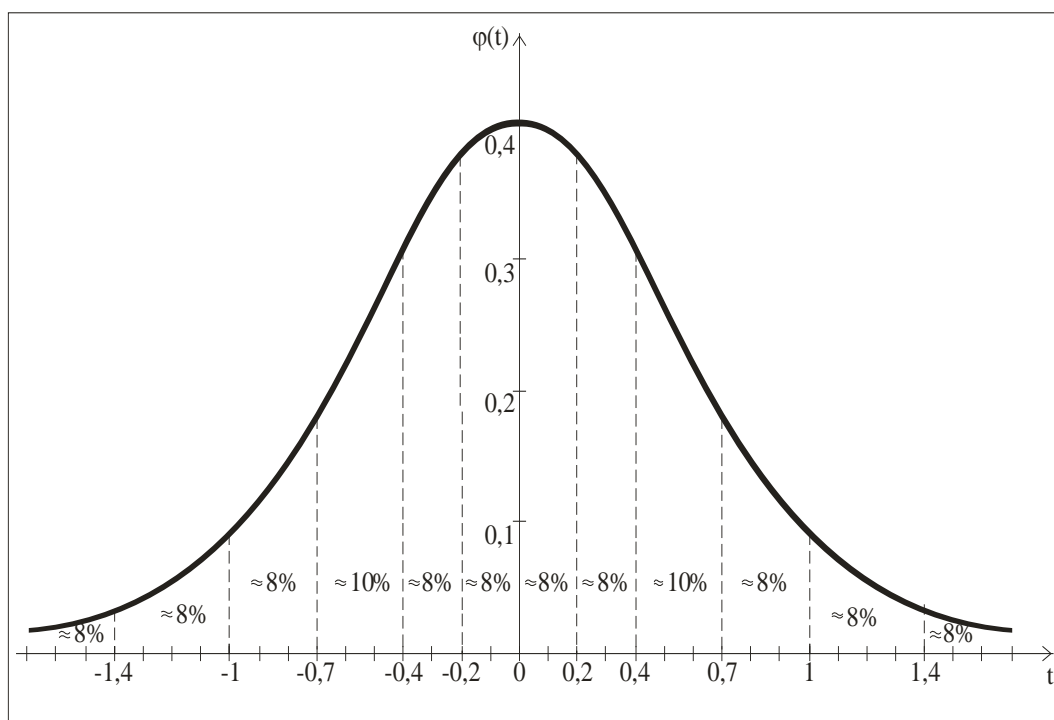


Рис. 36. Равновероятностная шкала с распределением результатов

Глава VIII. Метрологические основы контроля физической подготовленности спортсменов

В процессе управления подготовкой спортсмена необходимо осуществлять контроль. Под контролем в спортивной метрологии понимают сбор информации об объекте (системе) с целью последующего изменения деятельности системы.

В процессе физического воспитания и спортивной тренировки объектами контроля являются:

- 1) физические и психологические нагрузки;
- 2) функциональные состояния человека:
 - a) уровень физического и психического здоровья - состояние нормального функционирования всех систем организма человека в нормальных внешних условиях;
 - b) состояние «спортивной формы» - состояние повышенной готовности переносить внешние нагрузки и адаптироваться к ним;
- 3) уровни развития разных аспектов спортивной подготовленности (например, физической, тактической, технической, психологической и теоретической);
- 4) уровни развития физических качеств: силы, быстроты, выносливости, гибкости, ловкости;
- 5) специальное спортивное оборудование: спортивные сооружения, спортивные снаряды, тренажерные устройства, экипировка, вспомогательные средства;
- 6) спортивное судейство и т. п.

В практике физического воспитания и спорта осуществляют, как правило, комплексный контроль состояния спортсмена, его соревновательной и тренировочной деятельностью, который может быть представлен в виде общей схемы (рис. 37).

Общие требования к контролю

Контроль над физической подготовленностью включает измерение уровня развития скоростных и силовых качеств, выносливости, ловкости, гибкости, равновесия и т. п. Возможны три основных варианта тестирования:

- 1) комплексная оценка физической подготовленности с

- использованием широкого круга разнообразных тестов (например, измерение достижений в полиатлоне);
- 2) оценка уровня развития какого-либо одного качества (например, выносливости у бегунов);
 - 3) оценка уровня развития одной из форм проявления двигательного качества (например, уровня скоростной выносливости у бегунов).

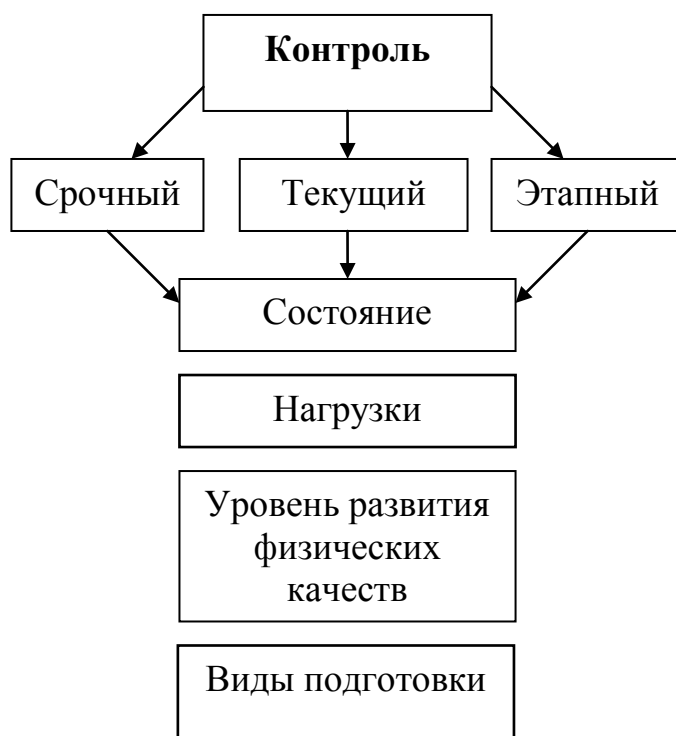


Рис. 37 Система контроля в спортивной практике

При тестировании физической подготовленности необходимо предварительно:

- 1) определить цель тестирования;
- 2) обеспечить стандартизацию измерительных процедур;
- 3) выбрать тесты с высокой надежностью и информативностью, техника выполнения которых сравнительно проста и не оказывает существенного влияния на результат;
- 4) освоить тесты настолько хорошо, чтобы при их выполнении основное внимание было направлено на достижение максимального результата, а не на стремление выполнить

движение технически правильно;

- 5) иметь максимальную мотивацию на достижение предельных результатов в тестах (это условие не распространяется на стандартные функциональные пробы);
- б) иметь систему оценок достижений в тестах.

Соблюдение всех этих условий обязательно, но особое внимание при проведении тестирования следует уделять созданию такого психического настроения, который бы позволил полностью выявить истинные возможности каждого спортсмена. Этого можно добиться, приблизив условия тестирования к соревновательным, в которых обычно демонстрируются наивысшие достижения.

§29. Контроль скоростных качеств

29.1. Формы проявления скоростных качеств

Скоростные качества спортсменов проявляются в способности выполнять движения в минимальный промежуток времени. Принято выделять *элементарные и комплексные формы проявления скоростных качеств* [10, 11].

Элементарные формы включают в себя:

- а) время реакции;
- б) время одиночного движения;
- в) частоту (темп) локальных движений.

Комплексные формы представлены быстротой выполнения спортивных движений (время атаки фехтовальщика, рывок нападающего в футболе или в хоккее, ударное или защитное действие в боксе и т. п.).

Контроль времени реакции

Время выполнения любого упражнения обычно складывается из двух переменных: *времени реакции (ВР) и времени движения (ВД)*. Например, результат в беге на 100 м, равный 10,15 с, представляет собой сумму времени стартовой реакции бегуна (0,15 с) и времени пробега дистанции (10,00 с). Вклад ВР оказывается наибольшим в тех упражнениях, где его значения сопоставимы со временем следующих за

реагированием движений (наиболее типична такая ситуация в спортивных играх и единоборствах).

Различают простые и сложные реакции: последние, в свою очередь, подразделяются на реакции выбора и реакции на движущийся объект.

Время простой двигательной реакции измеряют в таких условиях, когда заранее известен и тип сигнала, и способ ответа (например, при загорании лампочки — отпустить кнопку, на выстрел стартера - начать бег). Длительность простых реакций сравнительно невелика и, как правило, у взрослых спортсменов не превышает 300 мс (0,3 с), но заметно изменяется с возрастом юных спортсменов.

Для контроля уровня простой двигательной реакции (ПДР) в настоящее время широко используется компьютерная техника. Довольно простые компьютерные программы (softwares) могут быть использованы для решений этой метрологической задачи. Например, программой предусмотрено появление на мониторе компьютера простого изображения (знака), требуется нажать клавишу компьютерной мыши, как только испытуемый увидел изображение. Выполняется порядка 25 нажатий. Каждый раз процессор с высокой точностью определяет ПДР (до 0,0001 с) и затем после обсчета представляет среднюю величину из 25 попыток. Погрешность измерительного комплекса не должна превышать единицу миллисекунды. Например, при измерении ПДР на световой раздражитель должны быть стандартизованы расстояние между спортсменом и сигналом, форма, цвет и яркость сигнала, фон, на котором предьявляется, освещенность помещения, размер и форма датчика, усилие, прикладываемое к нему, способ ответа (нажатие или отрыв).

Таблица 17

Пример регистрации простой двигательной реакции у юных футболистов 14-летнего возраста с помощью компьютерного теста

Ф.И.О.	Время простой двигательной реакции, с
Р-в Аким	0,33
В-н Артем	0,29
М-в Арби	0,27
З-н Андрей	0,30

М-в Денис	0,29
Б-в Магомет	0,26
К-н Кирилл	0,28
Н-в Максим	0,28
Т-в Никита	0,29
К-й Михаил	0,17
И-в Кирилл	0,32
В-в Артем	0,36
К-в Александр	0,35
А-е Дмитрий	0,31
Г-в Семен	0,28
П-в Артем	0,31
В-в Роман	0,29
Б-в Дмитрий	0,34
Ф-в Павел	0,30
В-в Кирилл	0,26
А-в Эльвин	0,36
Ж-в Роман	0,28
Т-в Степан	0,30
Т-в Андрей	0,33
П-в Антон	0,31
М-н Михаил	0,33
Среднее значение	0,299
Стандартное откл. (σ)	0,018
Ошибка	0,004
Коэффициент вариации, %	6

Полученные данные ПДР составили в среднем 299 мс и метод регистрации этой метрологической характеристики достаточно точен и надежен, поскольку коэффициент вариации в данном случае не превышал 6%.

В соревновательных условиях способ измерения ПДР обуславливается особенностями старта, либо условиями выполнения элементов соревновательного упражнения. Например, на стартовые колодки (стартовую тумбу бассейна и т. п.) помещаются контактные датчики, допустимая погрешность срабатывания которых не должна превышать 1-2 мс. Стартовые пистолет, датчики и времяизмерительное устройство (ВИУ) соединены между собой так, что выстрел пистолета запускает систему измерения ПДР, а замыкание (или размыкание) контакта останавливает его.

Сложная реакция характеризуется тем, что тип сигнала и вследствие этого способ ответа неизвестны (такие реакции свойственны преимущественно играм и единоборствам, где ответные движения спортсмена всецело определяются действиями соперника). Зарегистрировать время такой реакции в соревновательных условиях весьма трудно.

Измерение *времени реакции на движущийся объект* проводится так: в поле зрения спортсмена появляется объект (это может быть соперник, мяч, шайба, точка на экране и т. п.), на который нужно реагировать определенным движением. Длительность времени таких реакций составляет от 300 до 800 мс.

Характер и длительность двигательных реакций всех типов зависит от многих факторов (вида спорта, возраста, квалификации и состояния спортсмена в момент измерения, сложности и освоенности движения, которым он реагирует на сигнал; типа сигнала и т. п.). В связи с этим вариативность времени двигательной реакции как показателя скоростных качеств (и внутрииндивидуальная, и межиндивидуальная) оказывается весьма значительной. Как показали исследования, этот показатель изменяется с возрастом спортсменов. В качестве примера можно привести изменение времени простой двигательной реакции у юных футболистов с возрастом (от 7 до 14 лет) (рис. 38).

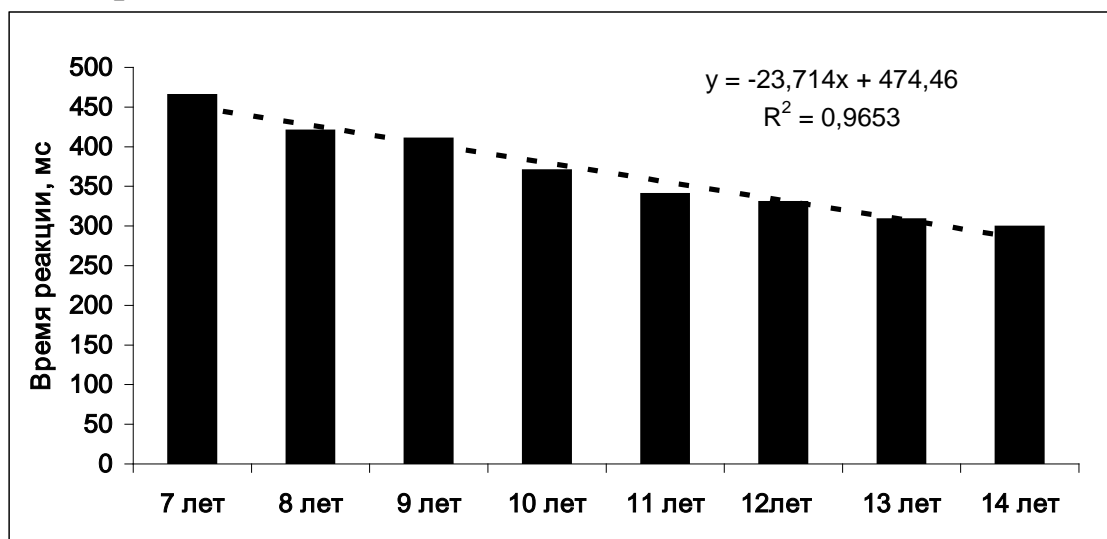


Рис. 38. Изменение времени простой двигательной реакции у юных футболистов с возрастом. Имеется четкая тенденция снижения времени реакции с возрастом с «шагом» 23,7 мс в год (согласно уравнению регрессии вида: $y = -23,714x + 474,46$, при $R^2 = 0,965$)

Вместе с тем важно заметить, что показатели времени простой двигательной реакции имеют заметные индивидуальные колебания, поэтому коэффициент вариации этого метода регистрации ПДР может составлять от 9,7 до 18,0%.

Контроль величины темпа движений

Частота движений является важным показателем скоростных качеств спортсмена. Количество движений в единицу времени, или темп (Т), наряду с длиной шага (L) определяют величину горизонтальной скорости (V) перемещения при разнообразных шагательных локомоциях (бег, ходьба, лыжи, коньки, плавание, велоспорт, гребля и др.). Темп рассчитывают на основе измерения времени выполнения двигательного действия (Δt) и их количества (n): $T = n/\Delta t \text{ с}^{-1}$. Показатели темпа изменяются с возрастом. На это указывали данные измерения темпа локальных движений и темпа бега у детей разного возраста, занимающихся футболом (рис. 39).

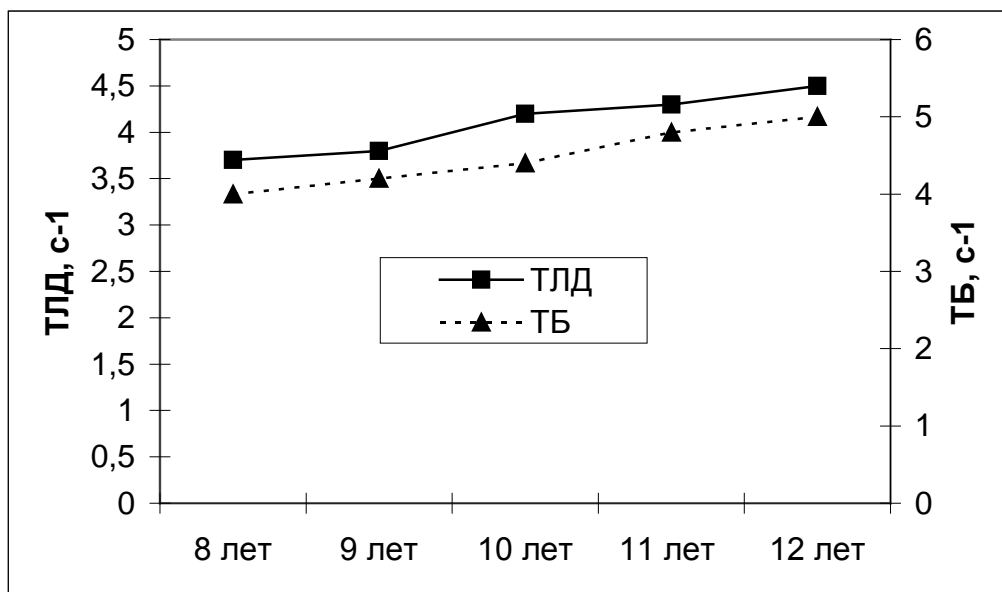


Рис. 39. Показатели темпа локальных движений (ТЛД) и темпа бега на месте (ТБ) и их изменения с возрастом у юных спортсменов (футбол)

Коэффициенты вариации методов определения темпа локальных движений (компьютерное тестирование) и темпа бега на месте были в основном сходными (табл. 18). Их величина составляла от 10 до 14%.

Показатели темпа движений и их изменение с возрастом
у юных футболистов 8-12 лет

Возраст	ТЛД, с ⁻¹	КВ, %	ТБ, с ⁻¹	КВ,%
8 лет	3,7	10,8	4,0	13,8
9 лет	3,8	12,0	4,2	11,6
10 лет	4,2	14,0	4,4	11,0
11 лет	4,3	10,0	4,8	10,6
12 лет	4,5	11,0	5,0	12,4

Обозначения: ТЛД - темп локальных движений; ТБ - темп бега на месте;
КВ - коэффициент вариации.

Измерение времени (скорости) максимально быстрых движений осуществляется двумя способами: *ручным* (с помощью электронного секундомера) и *автоматическим* (с помощью электромеханических спидографов, фотоэлектронных устройств, приборов, основанных на эффекте Доплера).

Регистрация времени ручным электронным секундомером наиболее проста, но имеет ряд недостатков: во-первых, итоговый результат зависит от времени реакции (ВР) секундометриста, которое весьма вариативно; во-вторых, результат измерения - это сумма ВР и время самого двигательного действия. Все это приводит к заметным величинам коэффициента вариации метода измерения времени движения. В значительной степени лишены данных недостатков автоматические устройства для измерения времени движения. Самым простым из них является *электромеханический спидограф*, состоящий из лентопротяжного механизма с отметчиками времени и расстояния. К ним присоединена через катушку с тормозом леска, другой конец которой крепится к поясу спортсмена. Во время бега (плавания, гребли и т. п.) вытягивание лески приводит к замыканию контактов и писчики отмечают на ленте время (через каждые 0,02 с) и расстояние (через 1 м). Из всех автоматических ВИУ спидограф наименее точен, погрешность его измерений составляет 5–7%.

Коэффициенты вариации методов определения темпа локальных движений (компьютерное тестирование) и темпа бега

на месте были в основном сходными (табл. 18). Их величина составлял от 10 до 14%. Прирост величины темпа как показателя быстроты движения с возрастом у юных спортсменов составил $0,26 \text{ с}^{-1}$ в год. Эта величина получена из уравнения регрессии вида: $Y = 0,26x + 3,7$, при этом достоверность аппроксимации данных составила 98% ($R^2 = 0,983$). При регистрации темпа локальных движений нарастание темпа с возрастом тоже хорошо предсказывается на основе статистической закономерности вида: $Y=0,21x + 3,47$, при $R^2 = 0,960$ (рис. 40).

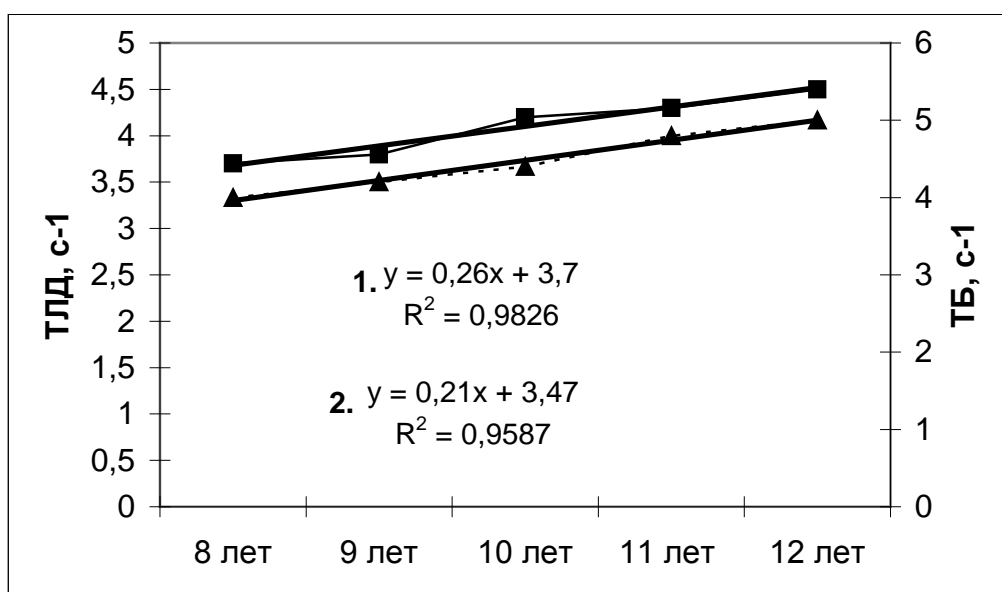


Рис. 40. Графическое представление регрессионной зависимости темпа движений от возраста юных футболистов

Надежные результаты можно получить, если использовать систему, состоящую из фотоэлементов, усилителя и регистрирующего устройства (электронных часов, осциллографа, самописца и т. п.). Фотоэлектронные датчики располагаются в определенных точках дистанции (например, через каждые 3 м для бега на 30 м или через каждые 5 м для бега на 100 м); при пересечении линии датчиков изменяется их освещенность и ВИУ срабатывает. Перспективными для измерения ВД являются ВИУ, основанные на эффекте Допплера, лазерные измерители и т. п.

Таблица 19.

Изменение комплекса показателей скоростных качеств на разных этапах подготовки спортсменов (юные футболисты 11-12 лет)

Показатели	Начальный период	Через год тренировки	Разница, %
ВДР, мс	0,38±0,02	0,33±0,02	13
Темп локальный, с ⁻¹	4,3±0,11	4,7±0,15	9
Темп общий, с ⁻¹	4,8±0,13	5,3±0,12	10
Бег 30 м, с	5,93±0,04	5,62±0,03	5

Обозначения: ВДР - время двигательной реакции

Более эффективно можно оценить скоростные качества, если использовать батарею тестов. Например, при проведении контроля эффективности развития этих двигательных качеств в течение года систематических занятий спортсменов регистрируют показатели: 1) время простой двигательной реакции, 2) темп локальных движений, 3) темп тотальных движений (частота шагов в беге на месте), 4) время спринтерского бега на 30 м в начале и через год тренировки (табл. 19).

29.2. Информативность и надежность

В большинстве случаев комплексный контроль быстроты движения проводится с помощью тестов, надежность которых была заранее определена специалистами в области спортивной метрологии. При использовании нового теста необходима проверка его надежности. Самый простой способ проверки - визуальное сравнение значений первой и второй попыток в тесте каждого спортсмена. Если результаты повторных измерений совпадают, значит, использованный тест характеризуется высокой надежностью. В этом случае получаем качественную оценку теста «надежен» или «ненадежен». Для получения количественной оценки нужно определять коэффициент надежности. Для этого можно использовать два метода:

1. Дисперсионный анализ. Он позволяет рассчитать не только коэффициент надежности, но и установить влияние различных факторов на изменчивость результатов в тесте.

2. Расчет коэффициента корреляции двух попыток. Оценка надежности - в зависимости от величины ее коэффициента, представлена в таблице 20.

Таблица 20.

Корреляция показателей теста и ретеста
(повторное тестирование, например, через день)

Коэффициент корреляции показателей теста и ретеста	Надежность теста
от 0,95 до 1,0	отличная
от 0,90 до 0,94	хорошая
от 0,80 до 0,89	средняя
от 0,70 до 0,79	удовлетворительная
меньше 0,70	недостаточная (низкая)

Тесты, показатели надежности которых меньше 0,7, использовать не рекомендуется. Метрологический контроль с помощью малонадежных тестов приводит к ошибкам в оценке состояния спортсменов. Если эти ошибочные данные используются как контрольные параметры для построения тренировочной программы, то это может привести к ошибкам тренировочного процесса в целом. В связи с этим всегда ставится задача повысить надежность тестов, применяемых для контроля тренировочного процесса и для оценки подготовленности спортсменов. Для этого необходимо устранить причины, которые вызывают увеличение вариативности измерений, использовать адекватные и точные приборы, мотивировать спортсменов на максимальный результат в тесте и учитывать исходное функциональное состояние обследуемых с помощью тестирования лиц.

Стабильность теста - это такая разновидность надежности, которая проявляется в степени совпадения результатов тестирования, когда первое и последующие измерения разделены определенным временным интервалом. Высокая стабильность теста свидетельствует о сохранении приобретенного в ходе тренировок технико-тактического мастерства, двигательных и психологических качеств.

Корреляционный анализ позволяет получить представления о надежности и стабильности тестов, которые использовались в процессе контроля. Полученная информация помогает определить, какие тесты и в каком возрастном периоде можно использовать для прогноза результатов.

При прогнозировании спортивной одаренности исходят из того, что определенное сочетание двигательных и психологических способностей, а также анатомо-физиологических задатков создает потенциальную основу для достижения высоких спортивных результатов в конкретном виде спорта. Необходимо учитывать стабильность показателей, характеризующуюся тем, что дети, показывающие лучшие результаты в раннем возрасте, сохраняют это преимущество в последующие периоды жизни. Основой способностей являются природные задатки, обусловленные наследственностью. Они проявляются при первых же попытках реализации какой-либо деятельности ребенка. Однако от природной одаренности зависит не сам успех, а только возможность его достижения.

Информативность некоторых показателей, характеризующих быстроту движения, представлена в таблице 21.

Таблица 21

Показатели информативности тестов, полученные при тестировании юных футболистов 12 лет

Критерии	Показатели ВД	Коэффициент информативности
Результат в беге на 60 м	1) прыжок в длину с места, (см)	-0,61
	2) тройной прыжок с места, (см)	-0,52
	3) прыжок вверх с места (по	-0,75
	Абалакову), (см)	0,03
	4) темп бега на месте, (с ⁻¹)	-0,32
	5) теппинг-тест, (с ⁻¹)	0,68
	6) бег на одной ноге 10 м, (с)	0,82
	7) бег на 15 м, (с)	0,93
	8) бег на 30 м, (с)	0,89
	9) бег на 30 м с хода, (с)	

Видно, что малоинформативными и, следовательно, непригодными для контроля скоростных качеств юных футболистов 12 лет являются такие тесты как темп бега на месте и частота движений кистью (теппинг-тест). Среди прыжковых тестов наибольшей информативностью обладает вертикальный прыжок по Абалакову, а самыми информативными оказались беговые тесты.

§30. Контроль силовых качеств

Определение силы в неявной форме содержится в трех законах движения Ньютона.

1. Всякое тело пребывает в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока какие-нибудь силы не выведут его из этого состояния.
2. Ничем не уравновешенная сила сообщает телу ускорение в том направлении, в котором она действует. Это ускорение пропорционально силе и обратно пропорционально массе тела.
3. Если тело A действует с некоторой силой на тело B , то тело B действует с такой же, но противоположно направленной силой на тело A .

На основе второго закона Ньютона определяют единицу силы как произведение массы на ускорение ($F = ma$).

Существует и другая формулировка второго закона Ньютона.

Количество движения тела равно произведению его массы на скорость его движения, так что ma - это скорость изменения количества движения. Сила, действующая на тело, равна скорости изменения его количества движения.

Есть разные способы измерения силы. Иногда для этого достаточно уравновесить силу грузом или определить, насколько она растягивает пружину. Иногда силы можно вычислить из других наблюдаемых величин, например, ускорений, при рассмотрении прыжков или метаний снарядов. В других случаях лучше всего использовать один из многочисленных электрических приборов, известных под названием механоэлектрических преобразователей. Эти приборы под действием приложенных сил генерируют электрические сигналы,

которые можно усилить и зарегистрировать в виде какой-либо записи и преобразовать в величины силы.

Силой действия в спортивной теории и практике называют силу воздействия человека на внешнее физическое окружение, передаваемую через дистальные биозвенья тела. Примерами может служить сила давления на гимнастический мостик при отталкивании, толчок штанги, взаимное усилие спортсменов в армрестлинге и т. п.

Сила действия человека зависит от состояния данного человека и его волевых усилий, то есть стремления проявить ту или иную величину силы, в частности, максимальную силу, а также от внешних условий, в частности, от параметров двигательных заданий, например, суставных углов в биоцепях тела (рис. 41).

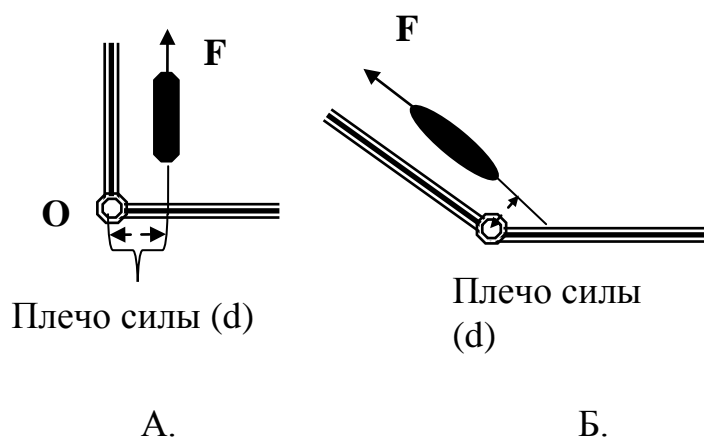


Рис. 41. Изменение эффективности тяги мышцы с уменьшением плеча ее силы (А и Б).

Все это необходимо учитывать при организации метрологического контроля этих двигательных качеств. При тяге под прямым углом (суставной угол равен 90°) момент (M) силы F относительно оси сустава (O) будет максимальным ($M = F \cdot d$), поскольку при этом будет самое большое плечо силы. Тогда как при суставном угле в 120° конечный эффект тяги мышцы как произведения ее модуля (F) на уменьшенное в этом случае плечо d будет значительно меньше.

Для корректной метрологической оценки силовых качеств спортсмена необходимо иметь в виду, что они характеризуются максимальными величинами силы действия, которую может проявить тот или иной человек. Наиболее распространенной является следующая классификация силовых качеств [15]

Силовые качества спортсмена

Силовые качества	Условия проявления
1. Собственно силовые (статическая сила)	Статический и парастатический режим движения
2. Скоростно-силовые: а) динамическая сила, б) амортизационная сила.	Быстрые движения Уступающие движения

От уровня развития силовых качеств зависят достижения практически во всех видах спорта, и поэтому методам контроля и совершенствования этих характеристик уделяется значительное внимание.

30.1. Способы измерения силы

Методы контроля силовых качеств имеют давнюю историю. Первые механические устройства, предназначенные для измерения силы человека, были созданы еще в XVIII в.

При контроле силовых качеств обычно учитывают три группы показателей.

1. Основные: а) мгновенные значения силы в любой момент движения (в частности, максимальная сила); б) средняя сила.
2. Интегральные, такие как импульс силы.
3. Дифференциальные, например, градиент силы.

Максимальная сила весьма наглядна, но в быстрых движениях сравнительно плохо характеризует их конечный результат (например, корреляция максимальной силы отталкивания и высоты прыжка может быть близка к нулю). Согласно законам механики конечный эффект действия силы, в частности, усилие, достигнутое в результате изменения скорости движения тела, определяется импульсом силы. Если сила постоянна, то *импульс* - это произведение силы на время ее действия ($S_i = F \cdot \Delta t$). В других условиях, например, при ударных взаимодействиях, расчеты импульса силы проводятся путем интегрирования, поэтому показатель называется интегральным.

Таким образом, наиболее информативен импульс силы при контроле ударных движений (в боксе, по мячу и т. п.).

Средняя сила - это условный показатель, равный частному от деления импульса силы на время ее действия. Введение средней силы равносильно предположению, что на тело в течение того же времени действовала постоянная сила (равная средней).

Дифференциальные показатели получают в результате применения математической операции дифференцирования. Они показывают, как быстро изменяются мгновенные величины силы.

Различают два способа регистрации силовых качеств:

- 1) без измерительной аппаратуры (в этом случае оценка уровня силовой подготовленности проводится по тому максимальному весу, который способен поднять или удержать спортсмен);
- 2) с использованием измерительных устройств - динамометров или динамографов.

Все измерительные процедуры проводятся с обязательным соблюдением общих для контроля физической подготовленности метрологических требований. Необходимо также строго соблюдать специфические требования к измерению силовых качеств:

- 1) определять и стандартизировать в повторных попытках положение тела (сустава), в котором проводится измерение;
- 2) учитывать длину сегментов тела при измерении моментов силы;
- 3) учитывать направление вектора силы.

Измерение максимальной силы. Понятие «максимальная сила» используется для характеристики, во-первых, абсолютной силы, проявляемой без учета времени, и, во-вторых, силы, время действия которой ограничено условиями движения. Например, вертикальная составляющая максимальной силы отталкивания в движении, моделирующем беговой шаг, составляет 4000 Н; реальная же вертикальная сила отталкивания в ходьбе равна 700 Н (приблизительно 10 Н/кг массы спортсмена), в беге - 2000 Н (или около 30 Н/кг).

Максимальная сила измеряется в специфических и неспецифических тестах.

В первом случае регистрируют силовые показатели в соревновательном упражнении или упражнении близком к нему по структуре двигательных качеств.

Во втором случае чаще всего используют стенд силовых обмеров, на котором измеряют силу практически всех мышечных групп в стандартных заданиях (как правило, в сгибаниях и разгибаниях сегментов тела).

В зависимости от способа регистрации результатом измерения бывает:

- 1) максимальная статическая сила;
- 2) максимальная динамическая сила.

При измерении силы в односуставных движениях фактически регистрируется ее момент, величина которого зависит от длины плеча силы и величины проявляемой силы (модуля силы). Поэтому точность результатов измерений оказывается тем большей, чем прочнее и стандартнее фиксируется тело спортсмена (или сустав) во время измерения. Даже небольшое изменение позы при повторных попытках может значительно изменить силовые показатели. Так как в сгибательных и разгибательных движениях регистрируется не сила, а ее момент, то в строгом смысле результаты измерений должны быть представлены не в ньютонах (Н) или килограммах силы (кГс), а в ньютонметрах (Нм) или килограммометрах (кГм).

Зарегистрированные в ходе измерений показатели силы называют абсолютными; расчетным путем определяют относительные показатели (отношение абсолютной силы к массе тела). При анализе относительных показателей необходимо учитывать, что в общем виде зависимость «сила – масса» описывается уравнением:

$$F = a \cdot W^{0,667},$$

где: F - сила (результат в силовом тесте); W - масса тела; a – константа.

Измерение градиентов силы. Дифференциальные показатели (или градиенты) силы характеризуют уровень

развития взрывной силы спортсменов. Определение их величины связано с измерением времени достижения максимума силы или каких-то фиксированных ее значений ($0,5F_{max}$ и т. п.). Чаще всего это делается с помощью тензодинамографических устройств, позволяющих получить динамику силы. Анализ градиентов силы позволяет установить причины различий в соревновательных движениях у спортсменов с одинаковым уровнем абсолютной силы.

Измерение импульса силы. Интегральный показатель (импульс) силы определяется либо как произведение средней силы на время ее действия, либо по площади, ограниченной динамограммой и осью абсцисс. Этот показатель характеризует силовые качества в ударных движениях.

Контроль силовых качеств без измерительных устройств. В массовом спорте об уровне развития силовых качеств часто судят по результатам соревновательных или тренировочных упражнений. Существует два способа контроля: прямой и косвенный. В первом случае максимум силы соответствует тому наибольшему весу, который может поднять спортсмен в технически сравнительно простом движении (например, жиме штанги лежа). Применять для этого координационно сложные движения (например, рывок штанги) нецелесообразно, так как результат в них в значительной степени зависит от технического мастерства.

Во втором случае измеряют не столько абсолютную силу, сколько скоростно-силовые качества или силовую выносливость. Для этого используют такие упражнения, как прыжки в длину и высоту с места, метание набивных мячей, подтягивания и т. п. Об уровне развития качеств судят по дальности бросков и метаний, исходя из зависимости между силой и скоростью движения.

Например, при значительных по массе отягощениях результат метания характеризует силовые качества; при средних - скоростно-силовые; при малых - скоростные.

30.2. Добротность силовых тестов

Информативность силовых тестов, применяемых в практике некоторых видов спорта, представлена в таблице 23.

Таблица 23

Информативность показателей силы

Критерий	Показатели ВД	Коэффициент информативности
Плавание: а) 100 м в/с	Статическая сила, измеренная в начале гребка	0,606
б) 100 м на спине	То же	0,377
Рывок штанги	Сила в рывковом хвате	0,644
Толчок штанги	Сила в толчковом хвате	0,695

Из таблицы видно, что информативность одного теста применительно к разным критериям неодинакова. Изменяется она и при изменении состава спортсменов (в разных видах спорта).

Надежность силовых тестов зависит от их сложности и способа измерения результатов. Наименее надежны тесты, измерения в которых проводятся механическими динамометрами ($0,60 \leq r_{tt} \leq 0,80$). Сравнительно высокой надежностью характеризуются градиенты силы (независимо от способа измерения; $0,70 \leq r_{tt} \leq 0,80$). Высокая надежность у тестов, предназначенных для измерения максимальной силы с помощью тензометрических устройств ($0,85 \leq r_{tt} \leq 0,95$).

Эквивалентность силовых тестов определяется по величине коэффициентов корреляции их результатов (табл. 24).

Таблица 24

Корреляционные зависимости показателей силы разгибателей ног при разных углах в коленном суставе
(по Л.М. Райцину)

Угол, градусы	90	110	130	150	Сила, кг
70	0,912	0,698	0,593	0,575	63 ± 14
90		0,758	0,639	0,526	105 ± 30
110			0,708	0,440	188 ± 47
130				0,824	303 ± 70
150					372 ± 86

Видно, что эквивалентны тесты измерения силы при близких углах: 70 и 90, 90 и 110, 110 и 130, 130 и 150. Во всех

остальных случаях зависимости не очень значительны, и, следовательно, эквивалентность тестов невелика.

Необходимо также иметь в виду, что с возрастом происходит закономерное изменение силовых показателей. Так, например, скоростно-силовой показатель, полученный на основе оценки результатов вертикального прыжка по Абалакову (рис. 42) увеличивался у юных футболистов 8-12 лет в среднем на 2,7 см в год (оценка сделана на основе уравнения регрессии вида: $y = 2,7x + 4,5$, при $R^2 = 0,962$).

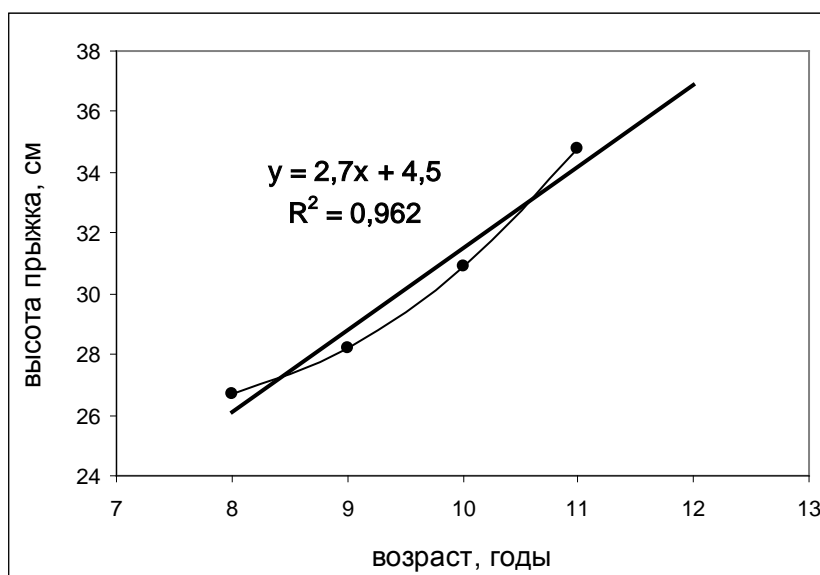


Рис. 42. Изменение высоты выпрыгивания с возрастом у юных футболистов 8-12 лет

Для комплексного контроля силовых качеств в процессе годичного цикла тренировки можно использовать батарею тестов, которая включает измерение силы рук при помощи кистевого динамометра, силы разгибателей спины (становой динамометр) и «взрывную» силу ног по результатам вертикального прыжка (табл. 24).

Таблица 24

Различия комплекса силовых показателей в начале и в конце подготовительного периода футболистов 18-летнего возраста

Показатели силы	В начале периода	В конце периода	Изменения, %	t
Динамометрия кистевая, пр.	47,1±1,4	48,5±1,5	3,0	0,7
Динамометрия кистевая, л.	44,0±1,2	45,7±1,0	3,8	1,1

Динамометрия становая	100,3±2,4	120±3,2	19,7	4,9
Вертикальный прыжок, см	49,3±1,2	55,5±0,9	12,6	4,2

Примечания: t - коэффициент достоверности различий в тесте Стьюдента ($t_{\text{крит}}=2,04$ при $\alpha=0,05$, $n=25$)

Корреляционный анализ позволяет получить представления о надежности и стабильности тестов, которые использовались в процессе контроля.

Повторное тестирование с целью определения стабильности и надежности силовых показателей через разные промежутки времени: через месяц, через год, через два года и через три (табл. 25), показало достаточно высокую степень воспроизводимости результатов. Особенно, когда повторное тестирование (ретест) проведено через относительно короткий промежуток времени (например, через месяц).

Таблица 25

Показатели стабильности силовых тестов (*коэффициенты корреляции результатов повторного тестирования*), определенные через разные промежутки времени у юных футболистов разного возраста

Возраст \ Показатели	12 лет (1 месяц)	12-13 лет (1 год)	13-14 лет (1 год)	14-15 лет (1 год)	12-14 лет (2 года)	13-15 лет (2 года)	12-15 лет (3 года)
Динамометрия кистевая, пр.	0,92	0,75	0,85	0,82	0,63	0,88	0,58
Динамометрия кистевая, л.	0,87	0,78	0,83	0,92	0,69	0,86	0,50
Вертикальный прыжок	0,75	0,68	0,63	0,63	0,47	0,72	0,72

Полученная информация о стабильности результатов через относительно большой период времени (1-3 года) позволяет определить, какие тесты и в каком возрасте лучше использовать для прогноза результатов. При прогнозировании спортивной одаренности исходят из того, что определенное сочетание двигательных и психологических способностей, а также анатомо-физиологических задатков создает потенциальную основу для достижения высоких спортивных результатов в конкретном виде спорта. Необходимо учитывать стабильность показателей,

характеризующуюся тем, что дети, показывающие лучшие результаты в раннем возрасте, сохраняют это преимущество все последующие периоды жизни.

При проведении метрологического контроля двигательных качеств необходимо иметь в виду, что выраженный прирост одних качеств (например, скоростно-силовых) может сочетаться с невысоким темпом изменения выносливости и наоборот. В таблице 26 приведены индивидуальные данные изменения показателя взрывной силы и аэробной выносливости у спортсменов в течение ряда лет (от 13 до 18 лет). В ряде случаев видно, что выраженный прирост взрывной силы (вертикальный прыжок по Абалакову, на 85-90%), сочетался с небольшим увеличением аэробного потенциала (только 20-23% за 5 лет).

Таблица 26

Величины прироста скоростно-силовых качеств и аэробной работоспособности у спортсменов (футбол) в процессе многолетней тренировки

№	Ф.И.О.	Вертикальный прыжок					МПК					МПК/вес				
		Исходный (см)	Возраст (годы)	Лучший (см)	Возраст (годы)	Прирост, %	Исходный (мл/мин)	Возраст (годы)	Лучший (мл/мин)	Возраст (годы)	Прирост, %	Исходный (мл/мин/кг)	Возраст (годы)	Лучший (мл/мин/кг)	Возраст (годы)	Прирост, %
1	Б-н А	34	13	63	18	85	2920	13	4450	18	52	45,0	13	53,8	18	20
2	К-н К	38	13	58	18	53	2900	13	3770	18	30	46,4	13	52,1	18	12
3	М-в А	37	13	67	18	81	2460	13	3790	18	54	44,7	13	50,3	18	13
4	Ц-в А	30	13	57	16	90	2390	13	3100	16	30	43,9	13	54,0	14	23
5	Р-н С	36	14	64	19	78	2710	14	3980	19	47	44,8	14	54,4	18	21
6	Ф-в Е	38	14	58	18	53	3380	14	4350	19	29	53,6	14	55,8	19	4
7	А-в А	60	15	71	18	18	3200	15	3980	18	24	50,6	15	55,3	18	9
8	Г-н А	34	15	57	20	68	2910	15	3950	20	36	47,9	15	54,8	20	14
9	З-ч Д	41	15	62	18	51	3000	15	4800	18	60	46,2	15	62,3	18	35
10	К-в Е	49	15	61	18	24	2610	15	3090	19	18	42,1	15	47,4	19	13
11	С-в А	47	15	64	19	36	3320	15	3980	19	20	46,6	15	50,7	19	9
12	С-в К	49	15	67	20	37	2600	15	4020	20	55	49,2	15	58,1	20	18
13	Ц-в С	45	15	56	20	24	2920	15	3940	20	35	48,3	15	54,5	20	13
14	П-в С	48	16	57	20	19	3110	16	4230	21	36	48,4	16	60,4	21	25
15	С-в М	45	16	60	21	33	3430	16	3830	19	12	45,3	16	48,0	19	6
16	Д-н С	38	17	54	21	42	2790	17	3630	21	30	46,9	17	53,3	18	14
17	Л-я Я	56	18	57	20	2	3030	18	4130	20	36	43,2	18	57,8	20	34
	М	42,6	14,8	60,8	18,9	46,7	2922,4	14,8	3942,4	19,0	35,5	46,7	14,8	54,3	18,6	16,6
	σ	8,2	1,4	4,7	1,3	26,3	307,9	1,4	424,8	1,3	13,9	2,9	1,4	4,0	1,5	8,8
	m	2,0	0,3	1,1	0,3	6,4	74,7	0,3	103,0	0,3	3,4	0,7	0,3	1,0	0,4	2,1

В таблице 26 также указаны исходные результаты, показанные футболистами на первом этапе наблюдения. Далее приведен лучший результат, зарегистрированный за весь период наблюдения, и также возраст, в котором он был показан. В следующем столбце приведена величина прироста данного показателя в процентах. Разница между исходным и лучшим показателями свидетельствует, во-первых, о том, на сколько спортсмен смог увеличить свой результат в данном упражнении под влиянием тренировки, а во-вторых, насколько тренируемо исследуемое качество.

§31. Контроль уровня развития гибкости

Согласно определению, *гибкость* - это способность выполнять движения с максимальной амплитудой в суставах [15, 25]. При анализе спортивной подготовленности выделяют два вида проявления подвижности в суставах: активную и пассивную гибкость.

Активная гибкость является показателем максимальной амплитуды движения в суставе при выполнении какого-либо движения за счет активного напряжения мышц, управляющих данным биозвеном. В свою очередь *пассивная гибкость* определяется наибольшей амплитудой движения биозвена или всей бицепи тела, которая достигается за счет внешней силы (рис. 43).

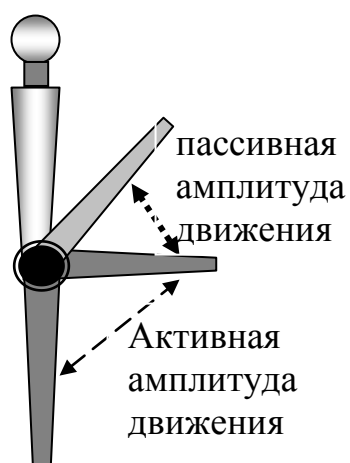


Рис. 43. Амплитуда *активных* движений (за счет активного сокращения мышц, создающих рабочий момент относительно сустава) и *пассивных* (при помощи внешней силы)

Величина силы должна быть стабильна для всех последующих измерений. Только в этом случае можно получить объективную оценку пассивной гибкости. Как правило, величина амплитуды движения в суставе при помощи внешней силы (пассивная гибкость) больше, чем это удастся сделать за счет активного сокращения мышц, обслуживающих данный сустав. В этом случае разница в величинах активной и пассивной гибкости называется *дефицитом активной гибкости*. Таким образом, эта величина может быть рассмотрена как критерий состояния суставного и мышечного аппарата спортсмена на определенных этапах подготовки.

При исследовании этого двигательного качества (гибкости) необходимо учитывать, что ее величина варьирует в зависимости от: 1) времени тестирования (установлено, что в 10 часов утра гибкость меньше, чем в 16 часов), 2) температуры воздуха, где проводится процедура измерения (например, при 25°C гибкость больше, чем при 14°C), 3) стандартизованности разминки (ее длительность влияет на увеличение гибкости).

Гибкость может быть измерена:

- 1) в угловых градусах;
- 2) в линейных мерах (см).

Измерить амплитуду движения в суставе можно следующими способами:

- механическим (гониометрическим);
- механоэлектрическим (электрогониометрическим);
- оптическим;
- рентгенографическим.

В первом случае измерение производится с помощью механического гониометра - угломера, к одной из ножек которого прикреплен транспортир. Ножки гониометра крепятся на продольных осях сегментов, образующих сустав. При выполнении движения (разгибание, вращение и т. д.) изменяется угол между осями сегментов. Изменение данного угла регистрируется гониометром.

Во втором случае транспортир заменяют потенциометрическим датчиком и получается электрогониометр. С его помощью получают гониограмму. Этот метод более точен.

Третий способ - оптический. Эти методы измерения гибкости основаны на применении цифровой фото-, и видеорегистрации. На суставных точках спортсмена укрепляют датчики - маркеры, изменение взаиморасположения которых фиксируется регистрирующей аппаратурой.

Точность оптических методов зависит от:

- 1) погрешностей регистрирующей аппаратуры;
- 2) способов крепления маркеров на суставных точках и величин их смещения при выполнении движения;
- 3) погрешностей анализа фото- и видеоматериалов.

Наиболее точный из оптических методов – стереоциклография в комплексе с компьютером. Эта комбинация позволяет регистрировать амплитуду движения в трехмерном пространстве.

Четвертый способ – рентгенографический метод, позволяющий определить теоретически допустимую амплитуду движения, рассчитав ее на основании рентгенологического анализа строения сустава.

Коэффициент надежности тестов гибкости больше 0,85. Информативность тестов на гибкость зависит от того, насколько амплитуда тестирующего движения совпадает с амплитудой соревновательного упражнения. Наибольшая информативность показателей гибкости маховых движений ногами отмечается у футболистов, барьеристов, прыгунов в высоту и длину. Вместе с тем необходимо заметить, что эквивалентность тестов на гибкость невысокая.

§32. Контроль уровня развития выносливости

При выполнении достаточно долго какого-либо движения (например, многокилометровая велосипедная гонка на заданную дистанцию) имеют дело с тремя основными переменными, которые лежат в основе измерения выносливости:

1. Интенсивность выполняемого двигательного действия. Она может быть определена метрологически точно путем измерения *скорости* перемещения (измеряется м/с); мощностью выполнения двигательного действия (например, при выполнении контрольного задания на велоэргометре, здесь единицы измерения мощности будут ватты), а также

силой действия или ее *импульсом* (как это бывает при статическом удержании какого-либо груза, единицы измерения - ньютоны или ньютоны/метр).

2. Объем выполнения двигательного действия. Он включает пройденное расстояние, выполненную работу (например, работу на велоэргометре; единица измерения – джоули); импульс силы (при выполнении статической работы; единица измерения - ньютон-секунда).

3. Время выполнения (единицы измерения - секунды, минуты, часы).

Этот комплекс характеристик называется эргометрическими характеристиками. Один из них всегда задается как параметр двигательного задания; два других - измеряются. Например, в известном тесте Купера задается время бега - 12 минут, а измеряется пройденное расстояние. Оно и служит для метрологического контроля выносливости.

В целом *выносливость* определяют, как способность длительно выполнять целенаправленные двигательные действия без снижения их эффективности. Это определение применимо к оценке выносливости в подавляющем большинстве видов спорта. Исключение составляют соревновательные упражнения в так называемых циклических видах спорта. Для этих упражнений *выносливостью* будет способность выполнять задание с наибольшей скоростью в наименьшее время.

Упражнения в практике спорта разнохарактерны и их много. Поэтому говорят о различных видах выносливости: общей и специальной, анаэробной и аэробной, силовой, локальной и глобальной, статической и динамической.

Выносливость измеряется с помощью двух групп тестов: *неспецифических* и *специфических*.

По результатам *неспецифических* тестов оценивают возможности спортсменов эффективно тренироваться и соревноваться в условиях нарастающего утомления. Результаты *специфических* тестов указывают на степень реализации этих возможностей.

К *неспецифическим* тестам определения выносливости относят:

1) бег на тредбане (рис. 44А);

2) педалирование на велоэргометре (рис. 44Б);

3) степ-тест.

Схема выполнения неспецифических тестов стандартизирована. Спортсмен выполняет задание в виде ступенчато возрастающей нагрузки до полного утомления.



А.

Б.

Рис. 44. Беговая нагрузочная дорожка для тестирования выносливости (А) и велоэргометр (Б); внешний вид устройств

Специфическими считают тесты, структура выполнения которых близка к соревновательной (так, для велосипедистов тестирование на велоэргометре рассматривается как измерение выносливости в специфических заданиях). Информативность специфических тестов выше, чем неспецифических. Так, например, коэффициент информативности теста PWC_{170} для бегунов на средние дистанции (результат отнесенный к массе тела) равен 0,78.

Наиболее распространенными показателями выносливости являются три эргометрических критерия: *время*, *объем* и *интенсивность* выполнения двигательных заданий. В процессе контроля этих показателей выносливости один из трех критериев задается в виде параметра (например, спортсмен должен бежать в течение 12 мин), второй непосредственно измеряется (регистрируется расстояние, которое пробежал спортсмен за эти 12 мин, например, 3500 м), третий рассчитывается (для данного случая рассчитывается скорость бега, которая составляет 4,86 м/с).

При измерении выносливости с помощью любого из этих

трех показателей и с соблюдением метрологических правил, оценка ее уровня должна быть одинаковой: спортсмену предлагается бежать 12 мин, за это время он пробегает 3500 м или предлагают пробежать 3500 м, и он должен затратить 12 мин (при учете погрешностей). Это так называемое правило обратимости двигательных заданий.

Выносливость характеризуется с помощью «предельных показателей» (например, пробежать наибольшее расстояние в заданное время, предельно долго поддерживая заданную скорость и т. д.). Величина этих показателей зависит от соотношения как минимум 2-х компонентов теста: длительности и интенсивности. В циклических видах спорта специфическим критерием выносливости будет являться снижение скорости в конце дистанции.

Уровень выносливости у каждого спортсмена в циклическом виде спорта по отношению к его скоростным возможностям неодинаков. Различия можно определять количественно по так называемому запасу скорости или коэффициенту выносливости. Запас скорости (ЗС) определяется как разность между средним временем пробега эталонного отрезка и лучшим временем на этом отрезке. Коэффициент выносливости (КВ) - это отношение времени преодоления всей дистанции к времени преодоления эталонного отрезка: чем он меньше, тем выше уровень выносливости.

Например, время на дистанции 400 м - 48,0 с (Т), а лучшее время на коротком («эталонном») отрезке 100 м - 11,0 с (Тэт), тогда:

$$КВ = 48,0 : 11,0 = 4,3636.$$

Выносливость измеряется с помощью гетерогенных тестов, результаты в которых зависят не только от уровня развития данного качества, но и от психологического умения противостоять утомлению.

При контроле выносливости, кроме спортивных, широкое распространение получили физиологические (например, тест PWC170 и определение максимального потребления кислорода -

VO₂max, табл. 27) и биохимические тесты (например, ПАНО), а также биомеханические критерии (например, такие как точность выполнения бросков в баскетболе, время опорных фаз в беге, колебания общего центра масс в движении и т. п.), в которых сравниваются их значения в начале, середине и в конце упражнений.

Таблица 27

Показатели аэробной работоспособности лиц с разным уровнем физической подготовленности (M±m)

Показатели	Группа 1	Группа 2	Группа 3
МПК, мл/мин	3,96±0,16	3,95±0,12	4,65±0,12*
МПК/вес, мл/мин/кг	48,0±0,9	54,2±0,4*	64,6±1,9*
Масса тела, кг	82,5±2,7	72,8±1,9	72,7±2,8
PWC ₁₇₀ /кг массы, кгм/мин	21,8±1,5	24,4±1,2*	29,4±1,5*

Обозначения: * - $\alpha < 0,05$, сравнению с данными группы 1 (избранная в качестве контроля). Группа 1 - умеренно тренированные лица (футбол); группа 2 - тренированные спортсмены (1 разряд, кмс - легкая атлетика спортивные многоборья); группа 3 - элитные спортсмены (мастера спорта и мастера спорта международного класса, легкая атлетика, триатлон)

По величине полученных различий судят об уровне выносливости: чем меньше изменяются биомеханические показатели в конце упражнения, тем выше уровень выносливости. Как видно из данных, приведенных в таблице, спортсмены, показывающие наиболее высокие результаты (группа 3), имели наибольшие величины физиологических характеристик аэробной выносливости.

При занятиях с детьми видами спорта, где не предъявляются высокие требования к аэробной работоспособности, например, прыжки и спринтерский бег в легкой атлетике, оценку функционального состояния можно проводить на основании теста Руфье. С помощью монитора сердечного ритма типа Polar регистрируется частота сердечных сокращений (ЧСС) в состоянии покоя до функциональной

нагрузки, затем выполняется нагрузка (20 приседаний за 30 секунд), во время которой регистрируется пиковое значение ЧСС по монитору и далее третья величина ЧСС на третьей минуте восстановления после нагрузки. При оценке пробы суммируют все три величины ЧСС (P), затем вычитают 200 и делят на 10 [1, 17].

$$\text{Индекс Руфье} = ((P_1 + P_2 + P_3) - 200) / 10$$

Результаты теста оцениваются по шкале:

меньше 1 – отлично

от 1 до 5 – хорошо

от 6 до 10 – удовлетворительно

от 11 до 15 – слабо

более 15 – неудовлетворительно

Для проверки степени надежности этого теста он был выполнен в формате «тест-ретест» (повторное тестирование через неделю) на юных легкоатлетах-спринтерах 9-летнего возраста (табл. 28).

Таблица 28

Результаты теста и ретеста юных легкоатлетов-спринтеров
(индекс Руфье)

№ участника тестирования	Тест	Ретест
1	12,0	11,9
2	14,6	14,2
3	14,8	14,4
4	14,8	12,4
5	10,8	10,4
6	14,0	13,6
7	13,6	12,8
8	14,0	13,8
9	10,8	11,4
10	8,8	8,4
11	9,0	8,9
12	14,8	14,4
13	12,8	13,6
14	4,8	4,7
15	11,6	11,4
16	9,3	9,2

17	11,5	11,2
18	8,8	8,7
19	15,0	14,8
20	13,2	13,0

Последующий корреляционный анализ показал высокую степень взаимосвязи результатов теста и ретеста. Коэффициент корреляции был равен 0,976 (рис. 45).

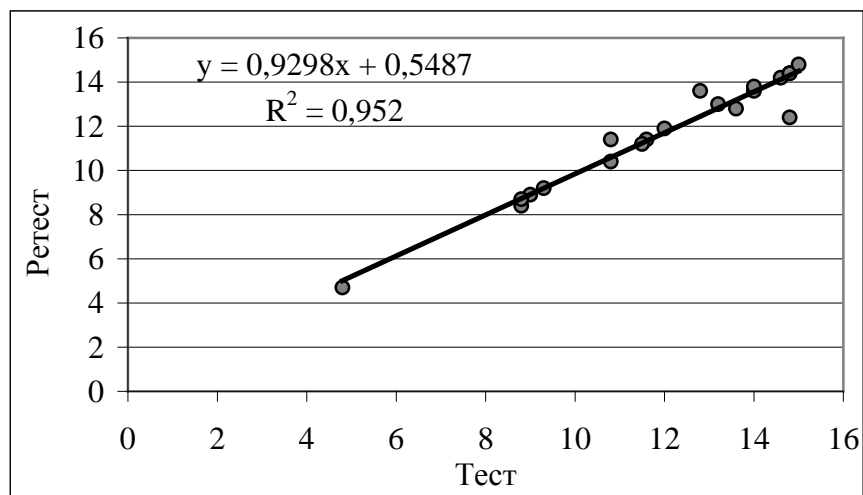


Рис. 45. Взаимосвязь результатов теста и ретеста (функциональная проба Руфье)

Глава IX. Методы контроля функциональной подготовленности в физической культуре и спорте

В настоящее время в теории и методике спортивной тренировки, в практике спорта осознана необходимость использования всего многообразия видов, методов, средств контроля в совокупности, что привело в результате к возникновению понятия «комплексный контроль». Под комплексным контролем следует понимать параллельное применение этапного, текущего и оперативного видов контроля в процессе обследования спортсменов, при условии использования педагогических, социально-психологических и медико-биологических показателей для всесторонней оценки подготовленности, содержания учебно-тренировочного процесса и соревновательной деятельности спортсменов.

Показатели, используемые в процессе этапного, текущего и оперативного контроля, должны обеспечивать объективную оценку состояния спортсмена, отвечать возрастным, половым, квалификационным особенностям контингента обследуемых, целям и задачам конкретного вида контроля. В процессе каждого из видов контроля можно использовать очень широкий круг показателей, характеризующих различные стороны подготовленности спортсменов, если эти показатели отвечают перечисленным требованиям. В комплексном контроле основными являются социально-психологические и медико-биологические показатели. Педагогические показатели характеризуют уровень технической и тактической подготовленности, стабильность выступления в соревнованиях, содержание учебно-тренировочного процесса и др. Социально-психологические показатели характеризуют условия окружающей среды, силу и подвижность нервных процессов спортсменов, их способность к усвоению и переработке информации, состояние анализаторной деятельности и др. Медико-биологические включают анатомо-морфологические, физиологические, биохимические, биомеханические и другие показатели.

Используемые в процессе контроля показатели делятся на две группы. Показатели первой группы характеризуют относительно стабильные признаки, передающиеся генетически и мало изменяющиеся в процессе тренировки. Адекватные этим признакам показатели используются преимущественно в этапном контроле при решении задач отбора и ориентации на разных этапах многолетней подготовки. К стабильным признакам относят размеры тела, количество волокон различных видов в скелетной мускулатуре, тип нервной деятельности, скорость некоторых рефлексов и др.

Показатели второй группы характеризуют техническую и тактическую подготовленность, уровень развития отдельных физических качеств, подвижности и экономичности основных систем жизнедеятельности организма спортсменов в различных условиях учебно-тренировочного процесса и соревновательной деятельности и др., т. е. подверженные существенному педагогическому влиянию.

§33. Обследования в покое и при нагрузочном тестировании

При проведении контроля функциональной подготовленности спортсменов выполняют обследование в покое и при нагрузочном тестировании. Группа экспертов ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения) рекомендует в качестве метрологически точных нагрузок применять велоэргометрию, степ-тест (восхождение на ступеньку определенной высоты и при определенном темпе) и бег на тредбане («бегущая» дорожка). В качестве стандартного нагрузочного теста часто используется тест PWC_{170} или W_{170} (от англ. physical working capacity). Существует два основных варианта нагрузочного тестирования в формате данной методики. В первом варианте используются две нагрузки по пять минут с перерывом в пять минут. Определяется величина ЧСС в конце каждой из нагрузок и по формуле Астранда-Карпмана рассчитывается величина физической работоспособности в ваттах или кгм/мин. В другом варианте выполняется

одномоментное нагружение, при этом нагрузка увеличивается ступенчато, например, на 25 ватт каждую минуту и так до тех пор, пока ЧСС не достигнет величины 170 уд. мин⁻¹. Пример графика в координатах *нагрузка/ЧСС* приведен на рисунке 46.

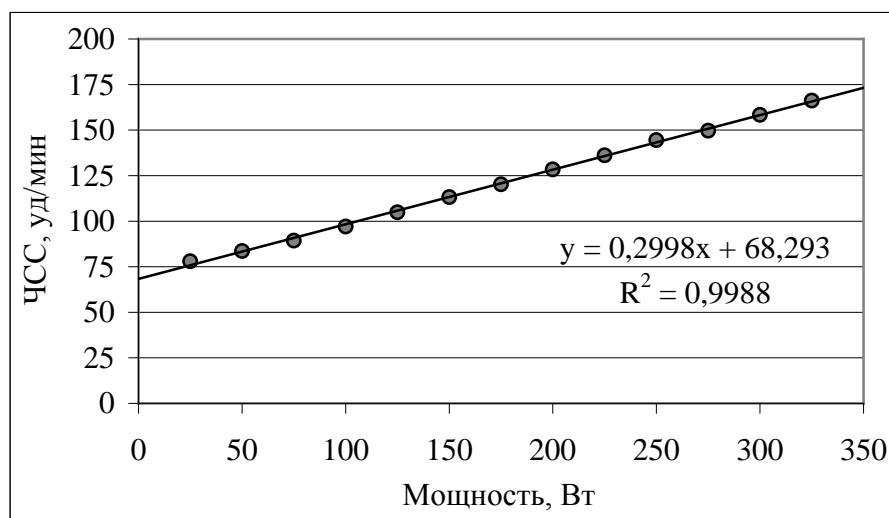


Рис. 46. Динамика ЧСС во время выполнения теста на велоэргометре со ступенчато возрастающей мощностью

Исследование функционального состояния в покое позволяет выявить степень экономизации функций, что является характерным признаком тренированности. Наиболее часто анализируют показатели сердечнососудистой системы и, в частности, величину ЧСС и двойное произведение, ДП = (ЧСС×АД)/100. Метрологическим признаком будет снижение ЧСС и ДП в состоянии покоя. Наиболее заметно эти изменения выявляются при проведении этапного контроля, например, через три месяца или через год наблюдений (табл. 29).

Таблица 29

Изменение функциональных показателей сердечнососудистой системы через три месяца подготовительного периода футболистов 15-летнего возраста

Показатели	Начальный этап	Через 3 месяца тренировки	Изменение, %	Р
Масса тела, кг	51,3±1,64	53,0±2,01	3,3	-
ЧСС (покой)	75,6±1,2	70,1±1,6	-7	0,05
САД, мм рт. ст.	113,1±2,8	113,7±2,3	-	

ДАД, мм рт. ст.	61,5±1,1	64,9±1,6	5	-
АДср., мм рт. ст.	78,6±1,4	81,0±1,4	3	-
ДП, отн. ед.	85,0±1,12	79,5±1,22	-6	0,05
ЧСС (нагрузка)	173,0±1,9	162,2±1,1	-6	0,05
Восстановления после нагрузки, (%)	79,0±1,9	84,0±1,4	6	0,05

Обозначения: САД - систолическое артериальное давление, ДАД - диастолическое артериальное давление, ДП - двойное произведение - показатель напряжения в функционировании сердечнососудистой системы

Через три месяца подготовительного периода тренировки отмечено умеренное снижение ЧСС в покое (на 7%) и величины двойного произведения.

При оценке реакции на стандартную нагрузку на велоэргометре, например, в 150 ватт, функциональным признаком повышения тренированности являются менее выраженные сдвиги параметров. В приведенном выше примере (таблица) виден эффект тренировки по этой характеристике. ЧСС в ответ на нагрузку в среднем по группе стала меньше на 6% и эта разница подтверждалась статистически ($p < 0,05$). При этом в систему контроля необходимо включать определение степени восстановления после нагрузки. Из данных, приведенных в таблице 29, мы видим, что реакция стала более экономной в конце подготовительного периода тренировки. В среднем по группе это составило 6%.

При интерпретации данных функционального контроля необходимо их сопоставлять с показателями физической работоспособности, поскольку совершенствование функций сердечнососудистой системы, дыхания и системы крови должно положительно сказаться на приросте работоспособности. В рассматриваемых примерах было установлено, что величина аэробного потенциала у спортсменов этой группы тоже повысилась к концу трехмесячного подготовительного периода тренировки (таблица 30).

Таблица 30

Изменение показателей аэробной работоспособности за три месяца подготовительного периода тренировки футболистов 15-летнего возраста

Показатели	Начальный этап	Через 3 месяца тренировки	Изменение, %	P
PWC_{170} , кгм/мин	708,9±20,8	804,2±21,2	13,3	0,01
$PWC_{170}/кг$ массы, кгм/мин	13,8±0,40	15,0±0,4	9	0,01
МПК/кг, мл	48,5±1,05	49,6±1,20	2	-

Обозначения: включенные в таблицу сокращения объяснены в тексте

Для сравнения, в группе взрослых спортсменов через 6 месяцев тренировки выявлено более заметное изменение функциональных показателей в состоянии покоя, что свидетельствует о выраженной экономизации функций (таблица 31).

Таблица 31

Изменение функциональных показателей сердечнососудистой системы через шесть месяцев тренировки у взрослых спортсменов (футбол)

Показатели	Исходный период	Через 6 месяцев	Изменение, %	P
Масса тела, кг	70,8±1,2	70,0±1,1	1	-
ЧСС (покой)	70,9±2,2	62,5±1,7	-12	0,05
САД	125,0±1,1	123,3±1,3	-2	-
ДАД	72,8±1,2	70,0±1,3	-4	-
ДП	88,7±1,8	76,9±2,4	-13	0,05

Изменения состояния сердечнососудистой системы через полгода тренировки необходимо сопоставлять с данными физической работоспособности. Параллельная комплексная регистрация величин аэробной работоспособности показывает, что более экономный вариант работы системы кровообращения в покое сочетается с заметным приростом аэробного потенциала организма и более высокой физической работоспособностью (таблица 32).

Таблица 32

Изменение показателей аэробной работоспособности за шесть месяцев подготовительного периода тренировки взрослых спортсменов-футболистов

Показатели	Исходный период	Через 6 месяцев	Изменение, %	P
ЧСС (нагрузка), мин ⁻¹	165,3±1,8	154,1±2,2	-7	<0,05
PWC ₁₇₀ , кгм/мин	1121,5±29,8	1206,9±39,9	7,6	-
PWC ₁₇₀ /кг	15,1±0,6	17,3±0,6	14,5	<0,05
МПК/кг, мл/мин	45,1±0,8	47,8±1,1	6	<0,05
Восстановления, %	32,0±0,9	46,2±1,4	46,2	<0,001

В покое показателем тренированности движения является прирост дыхательных объемов.

В качестве примера можно рассмотреть изменение жизненной емкости легких (ЖЁЛ) и жизненного индекса (ЖИ) за три месяца подготовительного периода тренировки футболистов 15-летнего возраста. Как видно из данных, приведенных в таблице 33, происходило умеренное повышение обоих параметров. Это сочеталось с увеличением МПК на 5,2%. Показатель максимального потребления кислорода является надежным индексом аэробной работоспособности спортсменов. Была выявлена заметная корреляция величин ЖЁЛ и МПК ($r=0,730$; рис. 47).

Таблица 33

Изменение показателей аэробной работоспособности за шесть месяцев подготовительного периода тренировки взрослых спортсменов-футболистов

Показатели	Исходный период	Через 3 месяцев	Изменение, %
ЖЕЛ, мл	4413,3±190,0	4680,0±218,2	4,8
ЖИ, мл/кг массы	70,5±1,5	72,9±1,3	3,4
МПК, л/мин	2,70±0,1	2,84±0,1	5,2

Обозначения: ЖЕЛ - жизненная емкость легких; ЖИ - жизненный индекс (отношение ЖЕЛ к массе тела); МПК - максимальное потребление кислорода

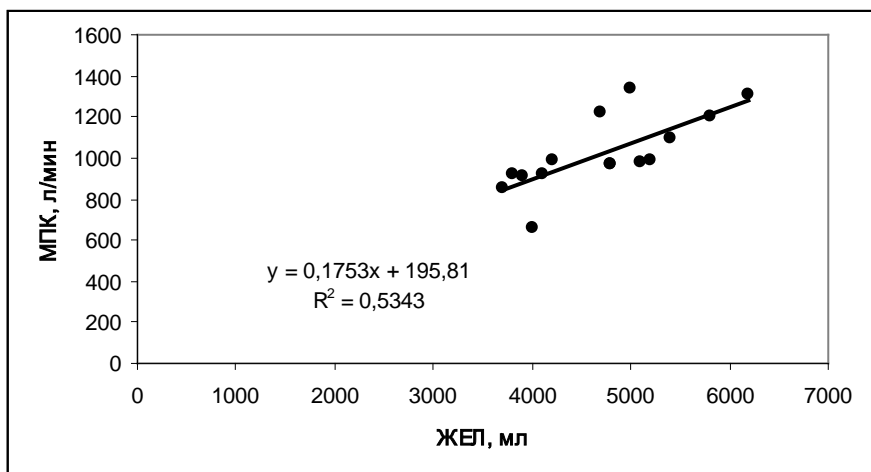


Рис. 47. Корреляция показателей жизненной емкости легких и величины МПК

В ряде случаев величина корреляции показателей ЖЁЛ и МПК достигала 0,85 – 0,90. Следовательно, при отсутствии возможности регистрировать величины максимального потребления кислорода можно ограничиться корректным измерением жизненной емкости легких и тем самым прогнозировать прирост аэробной мощности при условии положительной динамики ЖЕЛ и ЖИ в процессе повторных контрольных проверок функционального состояния спортсменов на разных этапах тренировочного цикла.

Глава X. Классификация свойств и показателей спортивной подготовленности

В зависимости от специфических требований, предъявляемых к спортивному достижению в отдельных спортивных дисциплинах, свойства и показатели спортивной подготовленности подразделяются на группы. Количественная характеристика свойств спортсмена, входящих в состав его подготовленности, рассматриваемая применительно к определенным условиям тренировки и соревновательной деятельности, называется *показателем спортивной подготовленности*. Показатель спортивной подготовленности численно характеризует степень проявления определенного свойства, входящего в состав подготовленности спортсмена. Его наименование определяет характеризуемое свойство. Например, быстрота сенсомоторной реакции, выносливость, гибкость и т. д. Численные значения могут выражаться как в размерных единицах (например, Н, Вт и т. д.), так и в безразмерных (например, шкала трудности гимнастических элементов и т. д.). Показатели спортивной подготовленности можно представить одним из следующих двух классов (табл. 34):

Таблица 34

Классификация свойств и показатели спортивной подготовленности

Группа показателей	Основные требования	Группа свойств и их качественно-ценностные характеристики
Функциональные показатели	Требования совершенства выполнения основной спортивной функции	Функциональные свойства (универсальность и широта спортивных возможностей)
Показатели надежности	Требования безотказного функционирования и избыточного резервирования спортивных возможностей	Надежность в тренировке и состязаниях (безошибочность и помехоустойчивость)
Показатели эстетичности	Эстетические требования	Эстетические свойства (динамичность исполнения и художественное оформление композиции)

1. *Показатели*, которые можно измерить объективными средствами (например, величина взрывной силы, время простой двигательной реакции, уровень физической работоспособности и т. д.); *Показатели*, которые невозможно определить объективными средствами (например, качество выполнения гимнастического упражнения, эффективность командных действий, выразительность движений в художественной гимнастике, эмоционально-моторная устойчивость и т. д.). В последнем случае численные значения показателей спортивной подготовленности определяются квалифицированными специалистами (экспертами) и выражаются в условных единицах - баллах.

§34. Показатели спортивной подготовленности

Показатели спортивной подготовленности являются основой для оценки уровня спортивно-технического мастерства спортсмена. При этом уровень спортивно-технического мастерства - относительная характеристика свойств специальной подготовленности спортсмена, основанная на сравнении значений показателей свойств оцениваемого спортсмена с соответствующими показателями спортсмена, принятого в качестве модельного образца-аналога. Количество показателей спортивной подготовленности, подлежащих включению в планы подготовки спортсменов и типовые программы их комплексных обследований, может быть различным в зависимости от целей и уровня спортивного совершенствования.

Под параметром спортивной подготовленности понимается количественная характеристика любых свойств или состояний спортсмена. Параметр спортивной подготовленности - более общее понятие, чем показатель спортивной подготовленности, как по области распространения, так и по содержанию. Признак спортивной подготовленности - это качественная и (или) количественная характеристика любых свойств или состояний спортсмена. Признак спортивной подготовленности является общим понятием, включающим показатели и параметры

спортивной подготовленности. Многообразие задач и целей оценки уровня специальной подготовленности спортсмена требует классификации показателей спортивной подготовленности по различным признакам. Показатель спортивной подготовленности, относящийся только к одному из ее свойств, называется *единичным показателем спортивной подготовленности*; относящийся к нескольким ее свойствам - *комплексным показателем*. Показатель спортивной подготовленности, относящийся к такому ее свойству или такой совокупности ее свойств, по которым принимают решение оценивать специальную подготовленность спортсмена, называется *определяющим показателем*. Определяющий показатель может быть единичным и комплексным. Комплексный определяющий показатель спортивной подготовленности называют обобщенным.

Группы показателей спортивной подготовленности

1. *По характеризующим свойствам и действующим факторам.* Функциональные показатели. Показатели надежности (безошибочности и помехоустойчивости). Эстетические показатели. Педагогические показатели. Медицинские показатели. Антропометрические показатели. Физиологические показатели. Биомеханические показатели. Психологические показатели. Социальные показатели.
2. *По способу выражения.* Показатели, выраженные в физических единицах, в безразмерных величинах (очки, баллы, ранги, проценты).
3. *По количеству характеризующих свойств.* Единичные показатели. Комплексные показатели (групповые, обобщенные, определяющие).
4. *По применению для оценки.* Модельные значения показателей. Относительные значения показателей.
5. *По стадии определения значений показателей.* Прогнозируемые и планируемые показатели. Показатели тренированности (оперативные, текущие, этапные). Соревновательные показатели.
6. *По единообразию и точности характеризующих свойств и действующих факторов.* Показатели стандартизации и унификации. Метрологические показатели.

Групповым называют комплексный показатель спортивной подготовленности, относящийся к одной (однородной) группе ее свойств. Обоснованный выбор показателей для оценки уровня спортивной подготовленности имеет первостепенное значение при включении их в типовую программу комплексных обследований спортсменов. Для осуществления такого выбора нужно располагать номенклатурой групп показателей спортивной подготовленности, удовлетворяющей требованиям необходимости и достаточности. Иными словами, эта номенклатура должна содержать только такие показатели, которые найдут практическое применение (то есть окажутся необходимыми). Кроме того, она должна содержать все группы показателей, определяющих международный (олимпийский) уровень спортивных достижений.

§35. Психолого-педагогические спортивные показатели

Они охватывают широкую совокупность показателей различных функций педагогического процесса в спортивной тренировке (обучение, воспитание). Эти показатели должны находиться в центре поля зрения спортивного педагога. Они используются при определении соответствия уровня совершенствования двигательных качеств спортсмена условиям и требованиям их проявления в тренировке и в спортивных соревнованиях. В таблице 35 приводится перечень групповых и единичных показателей физической подготовленности.

Таблица 35

Показатели физической подготовленности спортсменов, используемые в контроле эффективности тренировочной работы

Групповые показатели	Единичные показатели
Показатели силовых качеств	Собственно силовые показатели (максимальная статическая и динамическая сила в различных режимах мышечного напряжения, средняя сила, относительная сила). Интегральные показатели (импульс силы). Дифференциальные показатели (градиент силы, скоростно-силовой индекс).

Показатели быстроты движений	Показатели элементарных форм быстроты (быстрота простой реакции, быстрота сложной реакции, время одиночного движения, частота и темп локальных движений). Показатели комплексных форм быстроты и динамики скорости в циклических движениях (время бега, максимальная скорость, быстрота достижения и продолжительность удержания максимальной скорости, быстрота стартового ускорения, средняя скорость).
Показатели выносливости	Показатели интенсивности работы (скорость, мощность, сила). Показатели объема работы (пройденное расстояние, продолжительность). Относительные показатели (коэффициент и индекс выносливости, запас скорости). Биоэнергетические показатели работы (импульс силы, выполненная работа).
Показатели координационной сложности движений	Показатели точности выполнения движений (дифференциальные: пространственные, силовые, временные и комплексные: меткость, слежение). Показатели устойчивости движений и поз (статического и динамического равновесия, балансирования предметами).
Подвижность в суставах, гибкость	Основные показатели (активная и пассивная подвижность в суставах). Производные показатели (дозированная пассивная подвижность, дозированный дефицит подвижности, максимальный дефицит подвижности, запас гибкости, интервал болевого порога).

Следует отметить, что педагогические показатели позволяют вскрыть лишь внешние результаты двигательной деятельности спортсмена, но не внутренние (органические) процессы, лежащие в их основе. Показатели технической подготовленности характеризуют свойство спортсмена эффективно и рационально осуществлять двигательные действия, которые служат средством (специфических умений и навыков) к достижению успеха в соревновании.

Основные показатели технической подготовленности спортсмена приведены в табл. 36.

Номенклатура показателей технической подготовленности

Групповые показатели	Единичные показатели
Объем спортивной техники	Объем общий и реализационный. Показатели разносторонности двигательных действий (степень разнообразия освоенных навыков и умений, коэффициент предпочтений). Показатели рациональности техники.
Эффективность спортивной техники	Показатели сравнительной (дискриминативной) эффективности (усредненная техника спортсменов высокой квалификации). Показатели реализационной эффективности (реализации двигательного потенциала, функциональной экономизации).
Показатели стабильности техники	Показатели помехоустойчивости и автоматизированности спортивной техники.

Показатели функциональной подготовленности. Эти параметры функциональной подготовленности характеризуются комплексом свойств и качеств спортсмена, определяющих эффективность его тренировочной и соревновательной деятельности, а также соответствие целевому назначению - специфическим требованиям спортивного достижения.

В реальных ситуациях тренировочной работы и участия в состязаниях функциональное состояние спортсмена изменяется под влиянием целого ряда как связанных между собой, так и независимых воздействий. При этом реакция спортсмена выражается в разнообразных изменениях его физиологических и личностно-психологических характеристик. При этом важным показателем функциональной подготовленности являются энергетические свойства (аэробная производительность, анаэробная производительность). В литературе обычно выделяются три типа критериев, с помощью которых можно оценить функциональное состояние спортсмена: физиологические, поведенческие и субъективные. В табл. 37 представлены основные физиологические показатели функциональной подготовленности спортсмена.

Основные показатели функциональной подготовленности

спортсменов

Групповые показатели	Единичные показатели
Центральная нервная система (ЦНС)	Показатели функций головного мозга (разность потенциалов переменного электрического поля, статический потенциал, кровенаполнение, неоднородность структуры мозга). Показатели биопотенциалов субкортикальных отделов ЦНС - электроэнцефалографические показатели (α , β , Δ - ритмы), показатели энцефалореографии, данные позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).
Показатели сенсорных систем (зрительной, слуховой, тактильной, мышечной)	Показатели чувствительности (абсолютный и дифференциальный пороги чувствительности). Показатели пространственных характеристик (поле зрения, острота зрения, бинокулярность, диаграммы направленности). Зрительно-моторные ассоциации. Показатели временных характеристик (хронаксия, критическая частота мельканий, интервал дискретности). Показатели порога звукового давления.
Функции кровообращения (состояние сердца и сосудов, реология крови, транспорт кислорода)	Частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный выброс, минутный объем кровообращения, артериальное давление. Показатели эффективности и экономичности в работе сердца при мышечной деятельности. Сосудистая система: скорость кровотока и давление в крупных сосудах и сосудах микроциркуляции, плотность микрососудистого, сосудистого русел и физическая работоспособность. Лазерные анализаторы кровотока в спортивной практике. Биомикроскопия сосудов микроциркуляции. Реология крови, оптимальный гематокрит, кислородная емкость крови и физическая работоспособность.
Функции дыхания	Показатели внешнего дыхания при мышечной деятельности (частота дыхания, глубина дыхания, минутный объем и потребление кислорода). Максимальное потребление кислорода (МПК) как показатель аэробной работоспособности спортсмена. Легочные объемы и емкости. Эффективность использования кислорода. Показатели газового состава артериальной, капиллярной и венозной крови. Обмен газов между кровью и альвеолами легких, а также между тканями и кровью в системных капиллярах.
Эндокринная система	Гормоны, их уровень при мышечной деятельности. Стероидные гормоны. Анаболические стероиды, их

	применение в качестве допингов. Кроветворение у спортсменов, эритропоэтины, их применение в качестве допингов, антидопинговый контроль.
Нервно-мышечные взаимодействия	Показатели биоэлектрической активности мышц (порог возбуждения, хронаксия, порог тетануса, порог пессима, биопотенциалы мышц, электромиография, Н-рефлекс).
Обмен веществ и энергии	Показатели обмена веществ (белков, углеводов, жиров, воды и минеральных веществ). Показатели энергетического обмена (энергетический баланс, потребление кислорода и кислородный долг, основной обмен, добавочный расход энергии).
Теплорегуляция тела	Показатели регуляции теплообмена (телопродукции, теплоотдачи, температуры тела, регуляции температуры тела)

В литературе даются детальные описания используемых в контроле и оценке функциональной подготовленности спортсменов физиологических показателей. Следует учитывать тот факт, что конкретные спортивные дисциплины предъявляют различные требования к уровню функциональной подготовленности спортсмена.

Использование физиологических показателей в оценке функциональной подготовленности спортсменов сдерживается существенными трудностями метрологического порядка. Несмотря на относительную простоту непосредственного количественного измерения наблюдаемых при обследованиях спортсменов сдвигов физиологических функций, перед специалистом спорта встает целый ряд проблем. К их числу относятся задачи создания и выбора адекватных целям контроля методических средств анализа (математические модели и концептуальные схемы анализа). Существует целый ряд общих для всех видов физиологических измерений метрологических проблем, главные из которых - это проблемы эталонного уровня функционирования и нелинейности шкал измерений. Перечисленные факты, а также сохраняющееся методическое несовершенство процедур регистрации и обработки физиологических данных, представляют собой реальные трудности в деле использования этих показателей для практической оценки функциональной подготовленности спортсменов.

Психометрические показатели используются для оценки успешности выполнения заданного вида деятельности. При этом анализируется динамика показателей количества, качества и скорости выполнения задания, а также лежащие в ее основе изменения соответствующих психологических функций.

К подгруппе психометрических показателей относятся:

- абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности в различных модальностях;
- показатели работоспособности анализаторов;
- особенности восприятия пространственных отношений и репродуктивного мышления;
- показатели устойчивости и объема внимания при длительной однообразной работе;
- преимущественная установка на скорость или тщательность в работе;
- темп психических процессов при влиянии помех;
- особенности процесса мышления (активность, сообразительность и оперативная память);
- особенности внимания в работе в вынужденном темпе и при дефиците времени.

Основными психологическими средствами оценки функциональной подготовленности спортсмена являются короткие тестовые испытания (степ-тест и компьютерный теппинг-тест, корректурная проба, численно-буквенные сочетания, отыскивание чисел, восприятие времени, порог различения массы, «перепутанные линии», проба с кольцами, отыскание закономерностей, реакция на движущийся объект, измерение тремора, поддержание равновесия тела, точность оценивания и отмеривания параметров движений), характеризующие эффективность различных психических процессов во время выполнения двигательного задания. Применение психометрических показателей - один из наиболее перспективных путей решения проблем оценки функциональной подготовленности спортсмена, так как они, с одной стороны, непосредственно характеризуют возможности спортсмена, а с другой - объективны в том смысле, что исключают возможность сознательного завышения оценки спортивной работоспособности. Однако большинство из существующих

психометрических методов имеет два серьезных недостатка. Прежде всего, задания, по выполнению которых судят о функциональном состоянии, имеют мало общего с реально выполняемой спортсменом деятельностью. Другой принципиальный недостаток существующих психометрических методов тестирования состоит в том, что с их помощью можно оценивать лишь результативную сторону деятельности и, как правило, ничего нельзя сказать о причинах наблюдаемых изменений. Показатели субъективных состояний предназначаются для оценки степени утомления самим спортсменом (табл. 38). Испытуемого спортсмена просят соотнести свое состояние с рядом признаков, для каждого из которых выделены полярные оценки (отсутствие - присутствие, плохой - хороший).

Таблица 38

Субъективные показатели утомления

Групповые показатели	Единичные показатели
Усталость	Учащение дыхания, боль в мышцах, ощущение усталости, затруднение дыхания, учащение сердцебиений, слабость в ногах, истощение сил, дрожь в ногах, сухость во рту, одышка.
Нежелание работать	Повышенное потоотделение, напряженность, желание изменить род деятельности, ощущение дискомфорта.
Мотивация	Ощущение свежести, определенность в действиях, заинтересованность, энергичность.

В спорте широкое распространение получила методика оценки субъективного состояния, основанная на трех группах показателей: самочувствия, активности и настроения. Основное направление развития методов субъективных оценок функционального состояния идет по линии создания многоплановых тестов, основанных на использовании метода шкалирования - субъективной психофизиологии и психомоторики. Таким образом, развитие этого направления сталкивается в основном с трудностями метрологического характера. Поэтому оценка функциональной подготовленности,

основанная только на данных субъективного отчета и самооценки, может не отражать истинного положения дел.

§36. Показатели спортивной надежности

Специфика соревновательной надежности в отличие от спортивно-технической, тактической, психической и другой надежности определяется потребностью в безотказном выступлении в соревнованиях соответствующего ранга, с заданной результативностью в условиях сбивающих помех спортивной конкуренции в течение всего состязания. Важнейшие компоненты соревновательной надежности - это высшая результативность действий спортсмена и устойчивость этого уровня подготовленности в экстремальных условиях (помехоустойчивость). В качестве дополнительных показателей соревновательной надежности спортсменов можно также использовать следующие:

- вероятность безошибочного решения соревновательной ситуации, то есть вероятность того, что при реализации рассматриваемой соревновательной ситуации будут правильно выполнены именно те действия, которые составляют программу реализации данной ситуации и именно в заданной последовательности;
- вероятность успешного выполнения заданных действий в соревновательной ситуации, то есть вероятность того, что при возникновении определенной соревновательной ситуации заданные действия будут успешно выполнены;
- вероятность своевременной реализации соревновательной ситуации, то есть вероятность того, что совокупность всех действий, составляющих реализацию данной ситуации, будет выполнена за время, не превышающее допустимое;
- вероятность успешной реализации последовательно возникающих соревновательных ситуаций. Представляется, что уровень соревновательной надежности спортсменов определяется следующими основными факторами:
 - надежностью используемых технико-тактических средств и приемов,
 - рациональностью распределения задач, решаемых в системе

соревновательных мероприятий,

- наличием различных видов избыточности возможностей спортсмена (физической, технико-тактической, психической, информационной, функциональной, инвентарной и пр.).

Выбор состава показателей, используемых для описания и обеспечения соревновательной надежности, определяется характером соревновательных функций спортсменов, их сложностью и особенностями соревновательных требований видов спорта.

При формулировке требований к соревновательной надежности спортсмена необходимо учитывать:

- соревновательную цель спортсмена в целом, задачи его действий и отдельных функций в соревновательных ситуациях;
- виды ошибочных действий и возможные технико-тактические последствия сбоев отдельных действий;
- уровень соревновательной надежности, достигнутый аналогичными по мастерству спортсменами.

Разработка практических методик оценки и контроля соревновательной надежности спортсмена может быть обеспечена решением следующих задач:

- 1) разработка достаточно полной, предельно экономной классификации ошибочных соревновательных действий спортсменов;
- 2) разработка математических моделей для каждого вида ошибочных действий. Это может быть выполнено только на основе обстоятельного анализа статистических данных о каждом виде ошибочных действий на большом фактическом материале для всех основных видов спорта;
- 3) разработка практических методик оценки, контроля и нормирования надежности соревновательных действий в различных группах видов спорта. Эта задача может быть решена только на основе математических моделей, путем наиболее удобного их использования на практике;
- 4) составление таблиц накопленных справочных данных, характеризующих надежность и соревновательные свойства и показатели спортсменов.

§37. Показатели личности спортсмена

В БСЭ (1973) термин «личность» характеризуется признаками, обозначающими: 1) человеческий индивид как субъект отношений и сознательной деятельности (лицо в широком смысле слова) или 2) устойчивую систему социально значимых черт, характеризующих индивида как члена того или иного общества или общности. Науки, изучающие взаимосвязь общества и человека, определяют «личность», исходя из своих методологических схем (табл. 39).

Таблица 39

Основные характеристики личности

Признаки	Группы свойств	Показатели
Человек как индивид	Возрастно-половые свойства, индивидуально-типические свойства	Стадии онтогенетической эволюции, половой диморфизм, интенсивность онтогенетических стадий
Человек как личность	Статус в обществе	Конституциональные особенности, нейродинамические свойства мозга, особенности функциональной геометрии больших полушарий
Человек как субъект деятельности	Сознание, деятельность	Творчество (знания, умения, навыки), способности и талант

Социологический, антропологический, психологический, медицинский, педагогический, юридический подходы существенно разнятся. Из всех этих подходов нас в данном случае более всего интересует психологический (табл. 39).

Психологический аспект обязывает изучать личность человека с точки зрения связи (заимствования) данных естественных и общественных наук. Личность - одно из центральных понятий психологической науки. И, пожалуй, одно из наиболее сложных. Приведем пример определения термина «личность» с выделением целостных семантических единиц, предложенного видным советским психологом А.Н.Леонтьевым (1970): «Мой взгляд на личность состоит в том, что личность есть особое целое (1), особое психологическое новообразование

(2), формирующееся только у человека (3) и представляющее собой относительно поздний продукт общественно-исторического развития (4) и онтогенетического развития (5)».

Экспериментальные методы оценки психических свойств личности называют психодиагностическими и обычно делят на *вопросники* (личностные опросники, миннесотский многомерный личностный опросник - ММП1, 16-факторный личностный опросник Кеттелла, личностный опросник Айзенка) и *проективные методики* (тест тематической апперцепции - ТАТ, тест Роршаха, фрустрационный тест Розенцвейга).

Спортивные социологи выделяют следующие наиболее существенные личностные качества выдающихся спортсменов:

- достаточно высокую общую одаренность;
- быстрый темп психических процессов и способность к интенсификации психической деятельности;
- эмоциональную устойчивость;
- сильную волю;
- высокий уровень притязаний, уверенность в себе, склонность к риску, стремление к лидерству, общительность, открытый характер и чувство юмора;
- активную направленность и интерес к спортивной деятельности.

§38. Критерии оценки спортивной подготовленности

Под критериями, на основании которых вырабатывается суждение о качестве обследований спортсменов, понимаются признаки и свойства, присущие исследовательской проверке состояния спортсмена по ее природе, назначению, и отражающие опыт ее осуществления, реализации. Критерии качества оценки спортивной подготовленности отражают требования к составу и содержанию оценочных показателей, методам их определения, организации процессов оценивания.

Критерий объективности оценок заключается в том, что они (оценки) не должны зависеть или зависеть в минимально возможной степени от субъективного мнения лиц, выполняющих

оценку. Они должны осуществляться беспристрастно, без проявления заинтересованности в преднамеренном искажении.

Критерий системности состоит в необходимости использования взаимосвязанных оценок, каждая из которых отражает определенную сторону спортивной подготовленности, а все вместе — всю совокупность свойств специальной подготовленности спортсмена. В соответствии с этим критерием оценки должны обладать свойством комплексности, дополнять друг друга, быть взаимосогласованными и образовывать полную систему.

Критерий целенаправленности оценок определяется ориентировочной направленностью научной, методической, медицинской и другой деятельности (обеспечения) на повышение уровня спортивных достижений. Этому критерию подчиняются в первую очередь процедуры организации, осуществления и использования оценок, так как сами оценки, являясь объективными и достоверными, поневоле обязаны способствовать совершенствованию спортивных достижений.

Критерий надежности и достоверности относится в основном к методической процедурной стороне проведения оценок. Надежность оценок понимается одновременно как их устойчивость, слабая чувствительность к изменению условий осуществления оценок и оцениваемых качеств и к искусственным помехам. Требованиям надежности и достоверности удовлетворяют условия построения оценок и их совершенствования с учетом необходимости преодоления помех, создаваемых в явной или неявной форме или случайно проявляющихся в процессе функционирования системы оценивания.

Критерий универсальности способствует унификации методов и способов организации оценки спортивной подготовленности, сопоставимости результатов оценки в различных спортивных дисциплинах. Универсальность способствует регламентации или даже стандартизации оценок спортивной подготовленности, переводу их на единую нормативную основу.

Критерий простоты и доступности выражается в том, что оценки спортивной подготовленности должны быть относительно простыми в применении и доступными для освоения, не требующими чрезмерно высокого уровня квалификации лиц, осуществляющих оценку. Это требование относится и к числу используемых показателей спортивной подготовленности, номенклатурный перечень которых не должен быть слишком большим, так как иначе система оценки станет громоздкой. Вместе с тем требование простоты не должно приводить к грубым оценкам, упрощениям, искажающим истинную картину, то есть к нарушению требования достоверности. Критерий практической реализуемости означает, что система оценок не должна опираться на организационные формы, которые не могут быть применены в действующей практике управления подготовкой спортсменов. Оценки спортивной подготовленности должны удовлетворять требованиям оперативности, согласно которым продолжительность проведения и сроки завершения процессов оценки не должны превосходить заданных предельных значений, обусловленных необходимостью использования оценок в управлении тренировочным процессом. Запоздалые оценки не могут быть эффективно применены в целях активного влияния на качество обследований спортсменов.

§39. Показатели стандартизации и унификации

Напомним, что стандартизация определяется как установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу всем заинтересованным сторонам и при их участии. Стандартизация базируется на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития и должна осуществляться неразрывно с прогрессом. Главным содержанием требований стандартов в спорте являются устанавливаемые ими нормы, правила, понятия, обозначения, методы, характеристики, параметры, которые

должны обеспечивать подготовку высококвалифицированных спортсменов и их соревновательную результативность в мировом спорте; единство и требуемую точность измерений, оценок и контроля состояний спортсмена; безопасность учебно-тренировочного процесса и охрану здоровья спортсменов; требования спортивной эстетики; передовую организацию и эффективное управление подготовкой спортсменов.

В спорте этап стандартизации, по-видимому, уже наступил, что подтверждается публикациями, учебниками для ИФК, докладами на научных конференциях и специальными требованиями Международного комитета стандартизации тестов физической пригодности (табл. 40). Укрупненная формулировка направлений развития стандартизации в спорте определяется как разработка комплекса стандартов на требования тренировочного процесса к системам контроля, с целью внедрения этих требований (через стандарты).

Таблица 40

Стандартизованные показатели качества тестов

Комплексные показатели	Отдельные показатели стандартизации тестов
Добротность (аутентичность) теста	<i>Надежность и информативность</i>
Надежность теста (степень совпадения результатов при повторном тестировании одних и тех же испытуемых в идентичных условиях проведения процедуры)	<i>Стабильность теста</i> (она характеризует воспроизводимость результатов при проведении тестирования, через определенное время в одинаковых условиях). <i>Согласованность теста</i> (характеризуется независимостью результатов тестирования от личных качеств лиц, проводящих процедуру).
Информативность (валидность) теста - степень точности, с какой он измеряет свойство или качество, для оценки которого его используют	<i>Эквивалентность теста</i> (разновидность двух форм одного и того же теста). <i>Эмпирическая информативность</i> (когда результаты теста сравнивают с некоторым критерием). <i>Конкурентная информативность</i> (когда результаты теста сравнивают с другим тестом, информативность которого доказана). <i>Факторная информативность</i> (когда результаты сравнивают

	с одновременным действием ряда непосредственно не наблюдаемых факторов). <i>Логическая</i> (содержательная) информативность (когда тест является частью тех действий, которые выполняет испытуемый). Информативность по определению (когда договариваются о том, какой смысл вкладывается в тот или иной термин).
--	---

Оценка уровня подготовленности спортсменов осуществляется в следующих случаях: при определении квалификации и присвоении спортивного разряда, отборе спортсменов на соревнования и в сборные команды, планировании показателей подготовленности в тренировочном процессе, анализе динамики уровня подготовленности, анализе информации о ходе тренировочного процесса.

Параметры подготовленности спортсменов в зависимости от характера решаемых педагогических задач классифицируются по следующим признакам: по характеризующим показателям, по способу выражения, по количеству характеризующих показателей, по применению для оценки. В зависимости от специфических особенностей вида спорта и условий соревнований и тренировки некоторые группы показателей подготовленности спортсменов могут отсутствовать. При необходимости вводятся дополнительные группы показателей, характерные для конкретного вида спорта.

Оценка уровня подготовленности спортсмена представляет собой последовательность операций, включающую выбор совокупности показателей, определение численных значений этих показателей и сопоставление их с модельными показателями. Методы определения численных значений показателей подготовленности спортсменов подразделяются на две группы: 1) по способам получения информации; 2) по источникам получения информации. В зависимости от способа получения информации методы определения численных значений показателей подготовленности спортсменов делятся на измерительный, регистрационный, визуальный, расчетный. В зависимости от источника информации методы определения численных значений показателей подготовленности спортсменов делятся на традиционный, экспертный и экспериментальный. В

основе оценки уровня подготовленности спортсмена лежит сравнение совокупности показателей подготовленности с соответствующей совокупностью показателей модельного образца (совокупностью модельных значений показателей).

Модельным образцом называется достижимая совокупность значений показателей подготовленности идеального спортсмена, принятых для сравнения. Совокупность модельных значений показателей должна характеризовать идеальную подготовленность спортсмена, в которой могут быть показаны результаты, соответствующие высшим мировым достижениям. Повышенный интерес к унификации процедур комплексного обследования спортсменов возник в последние 20 лет в связи с актуальностью проблемы повышения качества всех видов научно-методической деятельности КНГ и их конечных результатов.

Показатели унификации характеризуют насыщенность типовых программ комплексных обследований спортсменов стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями, а также уровень унификации с другими типовыми программами обследований. Унификация представляет собой рациональное сокращение числа критериев, признаков, свойств, качеств, параметров или показателей спортивной подготовленности одинакового назначения для принятия оптимальных спортивно-педагогических решений. Наиболее типичными признаками, по которым унифицируются группировки методов оценки спортивной подготовленности, являются признаки:

- объект оценки, то есть вид спорта и спортивная дисциплина, спортивная квалификация, возрастно-половые группы, для оценки которых применяется данный метод;
- субъект оценки, то есть характеристический признак того, кто применяет данный метод;
- теснота связи метода с объектом (мера опосредования), то есть характеристика направленности метода непосредственно на оценку свойств специальной подготовленности спортсмена или оценку ее побочных свойств;
- аппарат оценки, характеризующий степень формализации метода и реализующих его процедур;
- форма выражения оценок, то есть способ представления

итоговых оценок в данном методе;

- база сравнения - определяющий источник базовых параметров, используемых в данном методе для сравнения с оцениваемыми параметрами;
- степень интеграции, характеризующая меру объединения частных оценок в обобщенные критерии;
- временные, характеризующие периодичность и этапность оценки.

Типизация методов по признаку «субъект оценки» необходима, так как арсенал применяемых методов зависит от того, кто их использует, то есть от лица или группы лиц, осуществляющих оценку. Если оценку осуществляет сам спортсмен, то он применяет индивидуальные методы и критерии оценивания, используя неформализованный аппарат оценивания (эвристические процедуры с нефиксированным алгоритмом, интуицию). Самооценка фиксируется в виде качественных суждений, хотя она формируется с учетом количественной оценки отдельных параметров.

Если оценку осуществляет тренер, то совокупность используемых методов оценки по сравнению с самооценкой спортсмена смещается в сторону усиления в них нормированных и формализованных элементов. Так, тренер стремится построить оценку в показателях соблюдения сроков подготовки, достижения намеченных в тренировочном плане спортивно-технических показателей. При коллегиальной, групповой экспертной оценке тенденции смещения оценок в направлении объективизации проявляются еще больше. База сравнения, применяемая при групповой оценке, весьма обширна и может охватывать всю гамму методов. Оценка производится в основном по комплексным критериям, дополняемым локальными. В условиях коллегиальной оценки возможно применение единого обобщенного критерия спортивной подготовленности. Цель типизации методов оценки по признаку «мера опосредования» - отделить прямые методы оценки показателей спортивной подготовленности по критериям, характеризующим их «целевое» назначение, выраженное в свойствах конечного итога подготовки спортсменов (соревновательной деятельности), от косвенных методов оценки

подготовленности спортсмена по отдельным параметрам подготовки (физической, технической, тактической и т. п.). Разделение методов оценки по признаку используемого в них аппарата рассматривается с позиций степени формализации оценки на основе имеющейся входной информации (методы - формализованные, неформализованные и смешанные).

Под *формализованными* понимаются методы, выражаемые посредством математических зависимостей, процедуры которых выполняются по формально-логическим алгоритмам, реализуемым с помощью средств вычислительной техники. *Неформализованные* - способы оценки эвристического характера, не описываемые на данном уровне их познания с помощью формально-логических алгоритмов и вырабатываемые на основе интуиции. В смешанных методах комбинируются формализованные и неформализованные процедуры.

Спортивная подготовленность оценивается с помощью и формализованных, и неформализованных методов, чаще всего в сочетании, поэтому наиболее типичны полуформализованные (смешанные) качественно-количественные методы оценки. Формы выражения оценок имеют две основные категории: качественное суждение и количественную (числовую) оценку.

Современная тенденция развития и совершенствования качественных суждений о спортивной подготовленности состоит в повышении уровня их предметности, конкретности при сохранении присущей этим оценкам описательной формы. Числовой показатель спортивной подготовленности может быть размерным и безразмерным (относительным). По степени интеграции количественные оценки в равной мере способны быть и локальными, и комплексными, и обобщенными. Рассмотрение признаков баз сравнения важно в связи с тем, что вне базы сравнения нет, по существу, и методов оценивания, ибо, как уже говорилось, методы оценивания - это в своей основе методы сравнения. В настоящее время имеется выраженная тенденция использовать в качестве базы сравнения показатели спортивной подготовленности так называемый уровень мировых достижений, установленный в международной спортивной практике (включая и отечественную практику спорта). Локальные оценки распространяются на единичные показатели спортивной подготовленности. Комплексные оценки образуются

путем объединения группы близких по содержанию локальных оценок. *Обобщенной является единая оценка*, которая имеет интегральный характер, аккумулирует в себе все основные стороны подготовленности спортсмена и выражает его уровень в целом одним показателем.

§40. Метрологические показатели

Оценка метрологических показателей осуществляется при использовании технических средств измерений. Получаемые при обследованиях спортсменов результаты зависят от нестабильности свойств спортивной подготовленности, погрешностей измерений, психических факторов (мотивации, готовности спортсмена), параметров внешних воздействий факторов и других причин. Чаще всего перечисленными факторами, кроме погрешностей измерений показателей спортивной подготовленности или средств измерений, пренебрегают. В этом случае результатам обследований приписывают погрешности средств измерений. При этом результаты обследований и результаты измерений при обследованиях совпадают. В типовых программах комплексных обследований спортсменов используют следующие метрологические показатели результатов измерений: точность, правильность, повторяемость (сходимость), воспроизводимость и достоверность. Перечисленные показатели результатов измерений уточняются при аттестации методик выполнения измерений и нормируются, как правило, пределами допускаемых значения. Требуемые значения точностных показателей результатов измерений, закладываемые в методику выполнения измерений, должны обеспечиваться при обследованиях правильным выполнением операций и применением технических средств, а также соблюдением условий обследований спортсменов.

Паспортизация методик выполнения измерения. Одним из путей выполнения требований по обеспечению точности измерений при обследованиях спортсменов является разработка и применение методик выполнения измерения на каждый измерительный процесс. Метрологический паспорт выполняется

как приложение к типовой программе комплексного обследования спортсменов и состоит из титульного листа и четырех разделов. На титульном листе помещаются следующие данные: назначение методики, место выполнения, руководители и исполнители, а также сведения о том, кто составил и ведет паспорт, дата согласования и утверждения паспорта руководством. Паспорт содержит следующие разделы:

1. Задания на измерения (измеряемый параметр и краткая характеристика условий измерения, цель и обоснование измерений, размерность, скорость изменения параметров, пределы измерения, допустимая условиями измерений погрешность, характер регистрации результатов измерений, дополнительные требования к измерениям).

2. Выбор методов и средств измерений. Оценка ожидаемых погрешностей измерений (метод измерений, наименование средств измерений, градуировка и пределы измерения, динамическая характеристика средств измерения, класс точности, оценка ожидаемых систематических погрешностей измерения, оценка ожидаемых динамических погрешностей измерения, оценка ожидаемых случайных погрешностей измерения).

3. Обеспечение измерений (предполагаемая дата проведения измерений, необходимое количество средств измерений, наличие средств измерений, дата их поверки, сведения о недостающих средствах измерения, сотрудник лаборатории, ответственный за проведение измерений).

4. Краткие данные по результатам измерений (что измерялось и размерность, когда измерялось и количество измерений, величины поправки, инструментальная погрешность измерительного комплекса, средняя квадратическая погрешность, доверительный интервал, суммарная величина погрешности измерения, основные результаты измерения с учетом поправок, характер и величина взаимосвязи между результатами измерения и исследуемыми факторами).

Паспортизация измерительных процессов и создание комплекса нормативной документации обеспечения позволяют значительно сократить время, затрачиваемое на планирование, подготовку и проведение массовых комплексных обследований спортсменов. Обеспечение единства результатов обследований

спортсменов - это комплекс научно-технических и организационных мероприятий, методов и средств, направленных на достижение требуемых точности, воспроизводимости и достоверности результатов обследований.

Единство результатов обследований - это состояние совокупности результатов повторных обследований спортсменов одинаковой квалификации и спортивной дисциплины, полученных по одной методике, при которой они известны с определенной точностью и (или) достоверностью и достаточно близки друг к другу, то есть воспроизводимы. Кроме того, предполагается, что результаты повторных обследований сопоставимы, то есть имеют одну размерность и единую форму представления; такие результаты можно сравнивать друг с другом. Единство результатов обследований спортсменов достигается выполнением следующего комплекса мероприятий и работ:

- установление допустимых отклонений параметров и показателей специальной подготовленности обследуемого спортсмена;
- нормирование точностных характеристик средств измерений и результатов обследований;
- выбор методов и разработка методик обследований, содержащих строгую регламентацию операций проведения измерений, решающие правила и контрольные нормативы, математическую обработку данных и результатов обследований;
- аттестация методов (методик) обследований, предусматривающих перерасчет результатов обследований с учетом нормальных или базовых (модельных) условий;
- аттестация подразделений и КНГ, осуществляющих массовые комплексные обследования спортсменов;
- осуществление ведомственного контроля над внедрением унифицированных методик в практику обследований спортсменов.

Обследования спортсменов должны проводиться по типовым программам и методикам контроля на метрологически аттестованном оборудовании и с применением поверенных средств измерений в аттестованных лабораториях и подразделениях комплексных научных групп (КНГ).

Глава XI. Метрологические аспекты организации исследований в спорте

Ценность исследования определяется целостностью его результатов. Одним из этических оправданий исследований с привлечением людей в качестве испытуемых может служить общественная полезность получаемых научных результатов, позволяющих существенно улучшить методы укрепления здоровья, повышать общую и специальную адаптированность к мышечным нагрузкам и усовершенствовать систему тренировок в спорте. Но если просчеты в методике исследования таковы, что получаемые данные имеют малую достоверность или недостоверны, то риск или даже дискомфорт испытуемых от участия в таком исследовании является этически неоправданным. Поэтому всегда интересен вопрос: «В какой степени исследователь ответствен за экспертизу научной ценности предполагаемого исследования?» Очевидно, если исследование недостаточно научно обосновано, то оно этически неоправданно, поэтому необходимо определить, являются ли разумными риски, которым подвергают испытуемых, по сравнению с ценностью знаний, которые могут быть получены от проведения исследования. Исследование должно быть спланировано так, чтобы принести достоверные и значимые результаты. Хотя исследователи и не должны быть экспертами по научной методологии или статистике, но они должны разбираться в основных характеристиках экспериментальных проектов и без колебания привлекать экспертов в случаях, когда какие-либо аспекты формы проведения исследовательского проекта являются сомнительными.

§41. Методология исследований

Целью науки является попытка понять физический мир, то есть описать явления, характеризующие физическую реальность, и, по возможности определить, предсказать и даже управлять условиями возникновения этих явлений. В основе научного подхода лежит принятие таких философских концепций как эмпиризм и детерминизм. Ученые принимают за аксиому, что

знание возникает из опыта и основывается на наблюдениях за физическими явлениями. Научное понимание должно опираться на систематически объективные наблюдения за физическими явлениями и на аналитическое мышление или логические умозаключения. Используемые здесь прилагательные «объективный» и «систематический» являются ключевыми для научного наблюдения. Объективные наблюдения можно получать напрямую, они повторяемы, что позволяет ученым контролировать достоверность работы друг друга. Систематические наблюдения получают при четко сформулированных и по возможности контролируемых условиях, поддающихся измерению и оценке. Методология проведения исследований включает инструменты, позволяющие проводить объективные и систематические наблюдения и получать так называемые «эмпирические данные». Эти инструменты гарантируют логичность умозаключений, выводимых из результатов наблюдений. Для организации своих эмпирических наблюдений ученые развивают теории. Теория - это набор принципов, при помощи которых пытаются объяснить каузальные факторы, лежащие в основе связанных между собой научных наблюдений. Полезность любой теории определяется ее внутренней последовательностью, способностью объяснять существующие данные и точностью предсказания. Для формулировки предсказаний, которые можно проверить опытным путем, ученые используют гипотезы. При этом важно понимать, что истинность научной теории или гипотезы никогда не может быть доказана - она может быть только подкреплена (подтверждена) или не подкреплена (опровергнута) имеющимися в наличии данными.

Биомедицинские исследования можно в широком смысле разделить на два типа: экспериментальные и описательные. В экспериментальном исследовании испытуемые произвольным образом распределяются по группам и подвергаются тщательно контролируемому воздействию экспериментатора, действующего на основании строгой логики, позволяющей делать каузальные умозаключения о результатах исследуемого воздействия. Описательные исследования при всей их объективности и систематичности лишены тщательного контроля, достигаемого произвольным распределением испытуемых и выверенным

управлением условиями воздействия. Поэтому, опираясь на описательные исследования, невозможно логическим путем прийти к каузальным умозаключениям.

Наблюдение

Некоторые виды исследований поведения человека включают только наблюдение за людьми в общественных местах (например, наблюдение за игровой деятельностью игроков спортивной команды во время матча). Когда испытуемые являются совершеннолетними, исследования такого типа могут освобождаться от этической экспертизы за исключением случаев, если:

- получаемая информация записывается исследователями таким образом, что позволяет непосредственно или косвенно идентифицировать испытуемых;
- обнародование ответов испытуемых может повлечь за собой риск уголовной или гражданской ответственности испытуемых, нанести ущерб их финансовому положению, положению на работе или репутации.

Для наблюдательных исследований этическая экспертиза требуется только тогда, когда исследователи воздействуют или вмешиваются в сферу активности испытуемых. Аналогичным образом, если наблюдение за людьми будет осуществляться в местах или при обстоятельствах, которые подходят под определение частной жизни, то такое исследование также должно пройти этическую экспертизу.

Исследования при помощи опросов и интервью. Опросы и интервью обычно применяются в таких общественных научных дисциплинах, как антропология, экономика, политэкономика, психология, социология, эпидемиология. Они должны гарантировать репрезентативность выборки, то есть выбранные для опроса или интервью люди должны представлять интересующую часть населения (фокус-группу). Необходимо учитывать оценку погрешности измерения для статистических методов. В некоторых исследованиях для получения индивидуальной информации напрямую применяется метод интервью, который в отличие от неформальных бесед является формализованным, то есть содержит стандартный набор

вопросов, которые задает специально подготовленный исследователь. Инструмент опроса - опросник - постоянно совершенствуется и проходит предварительную проверку на небольшом круге лиц, с целью исключить из текста двусмысленности или неточности.

§42. Сравнительные исследования

Популярным видом описательного исследования является сравнение групп тренированных спортсменов и группы контроля - нетренированных лиц. Затем сопоставляют наличие в группах определенных характеристик (например, реакции на дозированную физическую нагрузку).

В обычном сравнительном исследовании такого рода нет риска физического ущерба, поскольку никакого воздействия на испытуемых не оказывается. Вместе с тем необходимо убедиться в том, что исследователь предпринял адекватные меры для защиты конфиденциальности данных и уважения прав испытуемых (включая право на отказ от участия). Большинство сравнительных исследований требуют от их организаторов проверки медицинских архивов (например, в спортивной медицине) и интервьюирование испытуемых или их ближайших родственников. Такого рода исследование может потребовать тщательной этической экспертизы, которая должна удостовериться в получении адекватного информированного согласия и одобрения этического комитета учреждения (вуза, НИИ, клиники). Те сравнительные исследования, которые ограничиваются только изучением существующих письменных источников, могут быть подвергнуты поверхностной этической экспертизе или вообще освобождены от нее.

Проспективные исследования

Проспективное исследование предназначено для наблюдения за событиями (например, за этапом становления тренированности в годичном или олимпийском цикле подготовки, за поведенческими или физиологическими реакциями), которые могут возникнуть после идентификации испытуемых. Все контролируемые испытания являются

перспективными.

В лонгитюдных (продолжительных) исследованиях в течение длительного срока наблюдается один или несколько контингентов испытуемых. Продолжительность исследования может устанавливаться в его начале, однако в дальнейшем сроки могут пересматриваться. Например, несколько широкомасштабных лонгитюдных исследований, первоначальной целью которых было исследование детей, постепенно переросли в исследования испытуемых после достижения ими совершеннолетия. Люди, участвующие в долгосрочных исследованиях, иногда подразделяются на тех, кто был подвержен и не был подвержен определенным средовым воздействиям или факторам до начала исследования. Например, исследование уровня адаптированности какой-либо группы лиц, ранее интенсивно занимающихся спортом с группой лиц, не имеющей предварительной интенсивной мышечной тренировки (контрольная группа), но соответствующих по возрастным, половым критериям, вредным привычкам и другим значимым факторам.

Информированное согласие

Как и во всех перспективных исследованиях, в рандомизированных (см. стр. 216) информированное согласие имеет особую важность. Необходимо проконтролировать, чтобы информированное согласие испытуемые получали на всех стадиях исследования (например, в моменты изменения протокола исследования, введения новых процедур, появления новой информации о рисках, неблагоприятном эффекте). В таких случаях общего согласия, даваемого в начале исследования, будет недостаточно. Поскольку при проведении долгосрочного исследования испытуемые могут забыть о ключевых аспектах испытания, периодически следует подтверждать их согласие.

Этические соображения требуют, чтобы испытуемых информировали, что распределение по группам будет производиться случайным методом, а также о том, что одним из последствий участия в эксперименте может стать получение менее эффективной программы тренировки или адаптации в одной из групп.

Распределение испытуемых в экспериментальную и контрольную группы

Выбор формы проведения исследования зависит от целей и характера исследования. Хорошая методология предполагает такую форму его проведения, которая сводит к минимуму погрешности как в распределении в группы (например, при помощи рандомизации), так и в оценке полученных результатов. Существует несколько путей появления погрешностей в исследовании. Исследователь может излишне надеяться на успех одного из видов тренировочного воздействия или на истинность конкретной гипотезы. Эти ожидания могут бессознательно отразиться на его оценке полученных результатов. Чтобы не допустить этого, применяется метод проведения контролируемых исследований, в которых испытуемые разбиваются, по меньшей мере, на две группы: 1) лица, получающие экспериментальное тренировочное воздействие (экспериментальная группа), 2) испытуемые, не получающие систематических тренировочных мышечных нагрузок (контрольная группа).

Рандомизация

Чтобы минимизировать возможность сознательного или неосознанного подбора какого-то одного типа испытуемых в экспериментальную группу (например, наиболее подготовленных или наиболее здоровых), применяется признанная практика случайного распределения испытуемых в экспериментальную и контрольную группы. Этическим оправданием и предпосылкой использования случайного распределения является возможность разумного применения нулевой гипотезы (то есть предположения о том, что эффект от участия в экспериментальной и контрольной группах является одинаковым). Иногда испытуемые попадают в экспериментальную или контрольную группу с самого начала своего участия в исследовании и остаются в этих группах до его завершения. Такая форма проведения исследования называется «параллельным контролем». С другой стороны, иногда для каждого испытуемого проводят сравнение с самим собой путем прохождения через оба режима - сначала экспериментального тренировочного воздействия, а затем в контрольной группе или наоборот. Такая «перекрестная» модель исследования может

оказаться полезной, поскольку уменьшает вариабельность (каждый испытуемый получает и экспериментальное, и контрольное воздействие) и требует меньшее количество испытуемых.

Для адекватного применения перекрестного метода необходимо соблюдение нескольких условий: во-первых, функциональное состояние должно быть устойчивым; во-вторых, при смене программы тренировочного воздействия и переходе испытуемого в другую группу не должно возникать эффекта «переноса» (например, при изучении экспериментального тренировочного режима должно пройти достаточно времени, чтобы исчезли все его следы, прежде чем переходить ко второму). Независимо от формы проведения исследования наиболее распространенным методом в большинстве контролируемых испытаний является метод случайного распределения в экспериментальные группы. Рандомизация более предпочтительна, поскольку исключает сохраняющиеся в других методах погрешности при подборе испытуемых.

Поочередное распределение в ту или иную группы каждого последующего испытуемого, который дает на это свое согласие, или распределение испытуемых по экспериментальным группам в зависимости от даты начала тренировочного периода не являются подлинно случайными методами распределения.

В ситуации, когда ход развития тренировочного процесса у лиц экспериментальной группы (при доступной в настоящий момент программе тренировочного воздействия) настолько очевиден или хорошо известен, что применение рандомизации не является этически возможным, альтернативу может составить *метод исторического контроля* или контроля по архивной статистике. В таких контролируемых исследованиях состояние испытуемых сравнивается с их собственным состоянием в прошлом, до начала реализации тренировочной программы или обучения. Если нулевая гипотеза не может быть разумно применена, то просить испытуемых согласиться с распределением в контрольную группу (тренировочного воздействия) может быть этически неприемлемо.

В некоторых случаях использование исторического контроля может привести исследователей к ошибочным выводам. Поскольку изменяющиеся в ходе длительного периода

тренировки характер питания, стандарты гигиены, образа жизни и уровень здравоохранения могут явно повлиять на эффективность тренировочного воздействия, то применение исторического метода для демонстрации эффективности новой, экспериментальной программы обучения или тренировки может направить исследователей по ложному пути. Таким методом особенно трудно установить наличие слабо выраженного эффекта тренировки.

§43. Контроль наследственных влияний в спортивном отборе и прогнозе

Получены предварительные данные о заметной степени наследственных влияний в проявлении двигательных качеств. Так сравнение результатов в вертикальном прыжке родителей (35-38 лет, мастеров спорта и мастеров спорта международного класса) и их детей, занимающихся легкой атлетикой (возраст 8-14 лет) показало, что имеется высокая степень положительной взаимосвязи. Коэффициент корреляции между показателями детей и родителей составлял от 0,750 до 0,976 (рис. 48). На общую закономерность связи указывало и наличие такой корреляции в результатах тестирования по программам «вертикальный прыжок по Абалакову» и «прыжок в длину с места» (рис. 48 Б).

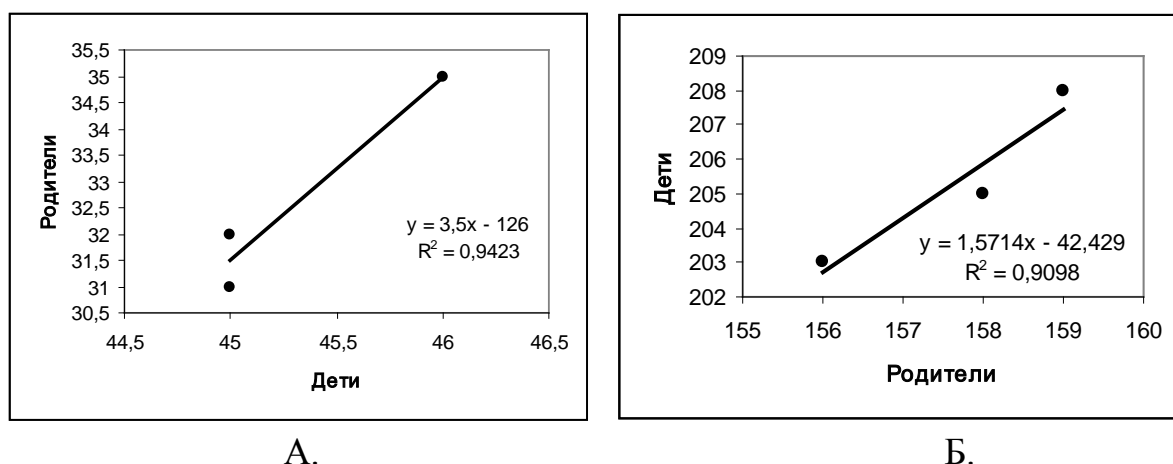


Рис. 48. Корреляция показателей вертикального прыжка детей и родителей легкоатлетов (А) и корреляция результатов тестирования, с использованием прыжка в длину с места у этих же лиц (Б)

Важно заметить, что дети в этих двигательных заданиях превышали результаты сверстников на 9,06 см (8-летние), что составило 38% и на 6,0 см для детей 14 лет (17%). Заметно выше средних величин были показатели бега на 30 и 60 м и результаты прыжка в длину с места. Различия составили от 6 до 12% (рис. 49).

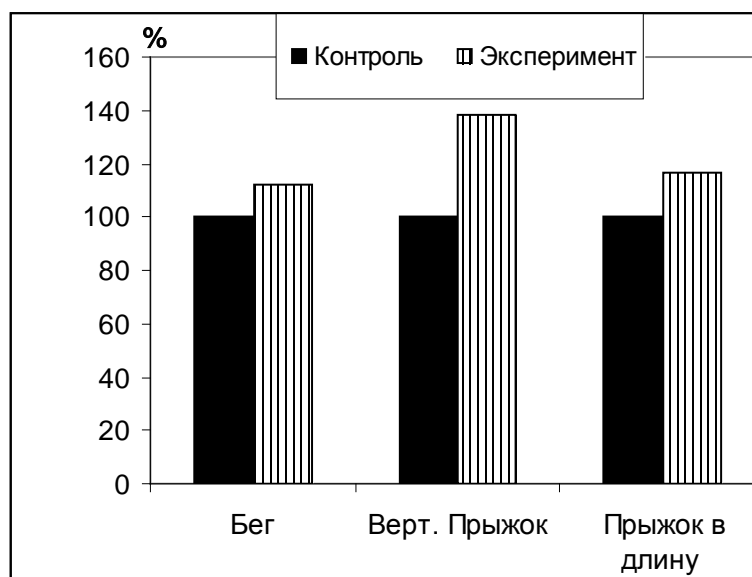


Рис. 49. Разница (%) результатов в двигательных тестах детей, у которых родители были мастерами спорта (эксперимент) и детей обычных родителей (контроль)

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что имеется вполне надежный инструмент для определения прогноза двигательной одаренности путем изучения наследственных механизмов при сопоставлении результатов тестирования родителей бывших спортсменов и их детей. Для более эффективного применения этой технологии прогноза и отбора необходима дальнейшая разработка математического аппарата обработки полученных данных.

Приложение

Приложение 1

Критические точки распределения F Фишера–Снедекора

(k_1 (k_2) – число степеней свободы большей (меньшей) дисперсии)

<i>Уровень значимости $\alpha = 0,01$</i>										
$k_2 \backslash k_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4052	4999	5403	5625	5764	5889	5928	5981	6022	605
2	98,5	99,0	99,2	99,25	99,3	99,33	99,34	99,36	99,38	99,4
3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5
5	16,3	13,3	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,1
6	13,8	11,0	9,8	9,2	8,8	8,5	8,3	8,1	8,0	7,9
7	12,3	9,6	8,5	7,9	7,5	7,2	7,0	6,8	6,7	6,6
8	11,3	8,7	7,6	7,0	6,6	6,4	6,2	6,0	5,9	5,8
9	10,6	8,0	7,0	6,4	6,1	5,8	5,6	5,5	5,4	5,3
10	10,0	7,6	6,6	6,0	5,6	5,4	5,2	5,1	5,0	4,9
11	9,9	7,2	6,2	5,7	5,3	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5
12	9,3	6,9	6,0	5,4	5,1	4,8	4,7	4,5	4,4	4,3
<i>Уровень значимости $\alpha = 0,05$</i>										
$k_2 \backslash k_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242
2	18,5	19,0	19,2	19,25	19,3	19,33	19,36	19,37	19,38	19,3
3	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78
4	7,7	7,0	6,6	6,4	6,3	6,2	6,1	6,04	6,0	5,96
5	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,9	4,8	4,78	4,74
6	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,2	4,15	4,1	4,06
7	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,68	3,63
8	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,5	3,44	3,4	3,34
9	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,18	3,13
10	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	3,1	3,07	3,02	2,97
11	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	3,0	2,95	2,9	2,86
12	4,75	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9	2,85	2,8	2,76

Критические значения критерия U Манна–Уитни

Уровень значимости $\alpha = 0,05$

$n_1 \backslash n_2$	4	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
4	1																				
6	3	5																			
9	6	12	21																		
12	9	17	30	42																	
15	12	23	39	55	72																
18	16	28	48	68	88	109															
21	19	34	57	81	105	130	154														
24	22	39	66	94	122	150	179	207													
27	25	45	75	107	139	171	203	236	268												
30	28	50	85	120	156	192	228	265	301	338											
33	31	56	94	133	173	213	253	293	334	374	415										
36	35	61	103	146	189	233	278	322	367	411	456	501									
39	38	67	112	159	206	254	302	351	399	448	497	546	595								
42	41	72	121	172	223	275	327	380	432	485	538	591	644	697							
45	44	78	131	185	240	296	352	408	465	522	579	636	693	750	808						
48	47	83	140	198	257	317	377	437	498	559	620	681	742	804	865	927					
51	50	89	149	211	274	338	402	466	531	596	661	726	791	857	922	988	105				
54	53	94	158	224	291	359	427	495	564	633	702	771	841	910	980	105	111	118			
57	57	100	167	237	308	379	451	524	597	670	743	816	890	964	103	111	118	125	133		
60	60	105	177	250	325	400	476	553	630	707	784	862	939	101	109	119	125	132	140	148	

Приложение 2. Продолжение

Уровень значимости $\alpha = 0,01$																				
$n_1 \backslash n_2$	4	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
4	0																			
6	1	3																		
9	3	7	14																	
12	5	11	21	31																
15	7	15	28	42	56															
18	9	19	36	53	70	88														
21	10	22	42	63	84	105	127													
24	12	26	49	74	98	123	149	174												
27	14	30	57	85	113	142	171	200	229											
30	15	34	64	95	127	160	192	225	258	292										
33	17	38	72	106	142	178	214	251	288	325	362									
36	19	42	79	117	156	196	236	277	318	358	399	440								
39	21	46	86	128	171	214	258	303	347	392	437	482	527							
42	23	50	94	139	186	233	280	328	377	425	474	523	572	621						
45	25	54	101	150	200	251	303	354	407	459	511	564	617	670	723					
48	27	58	109	161	215	269	325	380	436	492	549	606	662	719	776	834				
51	29	63	116	172	229	288	347	406	466	526	587	647	708	769	830	891	952			
54	31	67	124	183	244	306	369	432	496	560	624	689	753	818	883	948	101	107		
57	33	71	131	194	259	324	391	458	526	593	662	730	799	867	936	100	107	114	121	
60	35	75	138	205	273	343	413	484	555	627	699	772	844	917	990	106	113	120	128	135

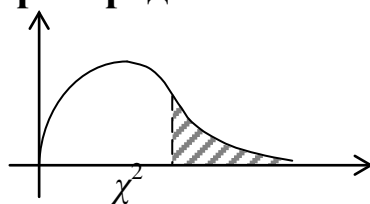
Критические значения критерия T Вилкоксона

n	α	
	0,05	0,01
5	0	–
6	2	–
7	3	0
8	5	1
9	8	3
10	10	5
11	13	7
12	17	9
13	21	12
14	25	15
15	30	19
16	35	23
17	41	27
18	47	32
19	53	37
20	60	43
21	67	49
22	75	55
23	83	62
24	91	69
25	100	76
26	110	84
27	119	92

n	α	
	0,05	0,01
28	130	101
29	14	110
30	151	120
31	163	130
32	175	140
33	187	151
34	200	162
35	213	173
36	227	185
37	241	198
38	256	211
39	271	224
40	286	238
41	302	252
42	319	266
43	336	281
44	353	296
45	371	312
46	389	328
47	407	345
48	426	362
49	446	379
50	466	397

Приложение 4

χ^2 – распределение



$m \backslash \alpha$	0,10	0,05	0,02	0,01
1	2,7	3,8	5,4	6,6
2	4,6	6,0	7,8	9,2
3	6,3	7,8	9,8	11,3
4	7,8	9,5	11,7	13,3
5	9,2	11,1	13,4	15,1
6	10,6	12,6	15,0	16,8
7	12,0	14,1	16,6	18,5
8	13,4	15,5	18,2	20,1
9	14,7	16,9	19,7	21,7
10	16,0	18,3	21,2	23,2
11	17,3	19,7	22,6	24,7
12	18,5	21,0	24,1	26,2
13	19,8	22,4	25,5	27,7
14	21,1	23,7	26,9	29,1
15	22,3	25,0	28,3	30,6
16	23,5	26,3	29,6	32,0
17	24,8	27,6	31,0	33,4
18	26,0	28,9	32,3	34,8
19	27,2	30,1	33,7	36,2
20	28,4	34,1	35,0	37,6
21	29,6	32,7	36,3	38,9
22	30,8	33,9	37,7	40,3
23	32,0	35,2	39,0	41,6
24	33,2	36,4	40,3	43,0
25	34,4	37,7	41,6	44,3

Приложение 5

Таблица значений $t_\alpha = t(\alpha, n)$

$n \backslash \alpha$	0,95	0,99	0,999		$n \backslash \alpha$	0,95	0,99	0,999
3	2,92	4,30	9,92		20	2,09	2,86	3,88
5	2,78	4,60	8,61		25	2,06	2,80	3,75
7	2,45	3,71	5,96		30	2,05	2,76	3,66
9	2,31	3,36	5,04		35	2,03	2,72	3,60
11	2,23	3,17	4,59		40	2,02	2,71	3,56
13	2,18	3,06	4,32		50	2,01	2,68	3,50
15	2,15	2,98	4,14		60	2,00	2,66	3,46
17	2,12	2,92	4,02		80	1,99	2,64	3,42
19	2,10	2,88	3,92		100	1,98	2,63	3,39

Приложение 6

Коэффициенты a_{nk} для расчёта критерия W Шапиро-Уилка

κ	n											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,7071	0,6872	0,6646	0,6431	0,6233	0,6005	0,5888	0,5739	0,5601	0,5475	0,5359	0,5251
2		0,1677	0,2413	0,2806	0,3031	0,3164	0,3244	0,3291	0,3315	0,3325	0,3325	0,3318
3				0,0875	0,1401	0,1743	0,1976	0,2141	0,2260	0,2347	0,2412	0,2460
4						0,0561	0,0947	0,1224	0,1429	0,1585	0,1707	0,1802
5								0,0399	0,0695	0,0922	0,1099	0,1240
6										0,0303	0,0539	0,0727
												0,0240

κ	n											
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	0,5150	0,5056	0,4968	0,4886	0,4808	0,4734	0,4643	0,4590	0,4542	0,4493	0,4450	0,4407
2	0,3306	0,3290	0,3273	0,3253	0,3232	0,3211	0,3185	0,3156	0,3126	0,3098	0,3069	0,3043
3	0,2495	0,2521	0,2540	0,2553	0,2561	0,2565	0,2578	0,2571	0,2563	0,2554	0,2543	0,2533
4	0,1878	0,1939	0,1988	0,2027	0,2059	0,2085	0,2119	0,2131	0,2139	0,2145	0,2148	0,2151
5	0,1353	0,1447	0,1524	0,1587	0,1641	0,1686	0,1736	0,1764	0,1787	0,1807	0,1822	0,1836
6	0,0880	0,1005	0,1109	0,1197	0,1271	0,1334	0,1399	0,1443	0,1480	0,1512	0,1539	0,1563
7	0,0433	0,0593	0,0725	0,0837	0,0932	0,1013	0,1092	0,1150	0,1201	0,1245	0,1283	0,1316
8		0,0196	0,0359	0,0496	0,0612	0,0711	0,0804	0,0878	0,0941	0,0997	0,1046	0,1089
9				0,0163	0,0303	0,0422	0,0530	0,0618	0,0696	0,0764	0,0823	0,0876
10						0,0140	0,0263	0,0368	0,0459	0,0539	0,0610	0,0672
11								0,0122	0,0228	0,0321	0,0403	0,0476
12										0,0107	0,0200	0,0284
13												0,0094

κ	n											
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	0,4366	0,4328	0,4291	0,4254	0,4220	0,4188	0,4156	0,4127	0,4096	0,4068	0,4040	0,4015
2	0,3018	0,2992	0,2968	0,2944	0,2921	0,2898	0,2876	0,2854	0,2834	0,2813	0,2794	0,2774
3	0,2522	0,2510	0,2499	0,2487	0,2475	0,2463	0,2451	0,2439	0,2427	0,2415	0,2403	0,2391
4	0,2152	0,2151	0,2150	0,2148	0,2145	0,2141	0,2137	0,2132	0,2127	0,2121	0,2116	0,2110
5	0,1848	0,1857	0,1864	0,1870	0,1874	0,1878	0,1880	0,1882	0,1883	0,1883	0,1883	0,1881
6	0,1584	0,1601	0,1616	0,1630	0,1641	0,1651	0,1660	0,1667	0,1673	0,1678	0,1683	0,1686
7	0,1346	0,1372	0,1395	0,1415	0,1433	0,1449	0,1463	0,1475	0,1487	0,1496	0,1505	0,1513
8	0,1128	0,1162	0,1192	0,1219	0,1243	0,1265	0,1284	0,1301	0,1317	0,1331	0,1344	0,1356
9	0,0923	0,0965	0,1002	0,1036	0,1066	0,1093	0,1118	0,1140	0,1160	0,1179	0,1196	0,1211
10	0,0728	0,0778	0,0822	0,0862	0,0899	0,0931	0,0961	0,0988	0,1013	0,1036	0,1056	0,1075
11	0,0540	0,0598	0,0650	0,0697	0,0739	0,0777	0,0812	0,0844	0,0873	0,900	0,0924	0,0947
12	0,0358	0,0424	0,0483	0,0537	0,0585	0,0629	0,0669	0,0706	0,0739	0,0770	0,0798	0,0824
13	0,0178	0,0253	0,0320	0,0381	0,0435	0,0485	0,0530	0,0572	0,0610	0,0645	0,0677	0,0706
14		0,0084	0,0159	0,0227	0,0289	0,0344	0,0395	0,0441	0,0484	0,0523	0,0559	0,0592
15				0,0076	0,0144	0,0206	0,0262	0,0314	0,0361	0,0404	0,0444	0,0481
16						0,0068	0,0131	0,0187	0,0239	0,0287	0,0331	0,0372
17								0,0062	0,0119	0,0172	0,0220	0,0264
18										0,0057	0,0110	0,0158
												0,0053

κ	n											
	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	0,3989	0,3964	0,3940	0,3917	0,3894	0,3872	0,3850	0,3830	0,3808	0,3789	0,3770	0,3751
2	0,2755	0,2737	0,2719	0,2701	0,2684	0,2667	0,2651	0,2635	0,2620	0,2604	0,2589	0,2574
3	0,2380	0,2368	0,2357	0,2345	0,2334	0,2323	0,2313	0,2302	0,2291	0,2281	0,2271	0,2260
4	0,2104	0,2098	0,2091	0,2085	0,2078	0,2072	0,2065	0,2058	0,2052	0,2045	0,2038	0,2032
5	0,1880	0,1878	0,1876	0,1874	0,1871	0,1868	0,1865	0,1862	0,1859	0,1855	0,1851	0,1847
6	0,1689	0,1691	0,1693	0,1694	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1695	0,1693	0,1692	0,1691
7	0,1520	0,1526	0,1531	0,1535	0,1539	0,1542	0,1545	0,1548	0,1550	0,1551	0,1553	0,1554
8	0,1366	0,1376	0,1384	0,1392	0,1398	0,1405	0,1410	0,1415	0,1420	0,1423	0,1427	0,1430
9	0,1225	0,1237	0,1249	0,1259	0,1269	0,1278	0,1286	0,1293	0,1300	0,1306	0,1312	0,1317
10	0,1092	0,1108	0,1123	0,1136	0,1149	0,1160	0,1170	0,1180	0,1189	0,1197	0,1205	0,1212
11	0,0967	0,0986	0,1004	0,1020	0,1035	0,1049	0,1062	0,1073	0,1085	0,1095	0,1105	0,1113
12	0,0848	0,0870	0,0891	0,0909	0,0927	0,0943	0,0959	0,0972	0,0986	0,0998	0,1010	0,1020
13	0,0733	0,0759	0,0782	0,0804	0,0824	0,0842	0,0860	0,0876	0,0892	0,0906	0,0919	0,0932
14	0,0622	0,0651	0,0677	0,0701	0,0724	0,0745	0,0765	0,0783	0,0801	0,0817	0,0832	0,0846
15	0,0515	0,0546	0,0575	0,0602	0,0628	0,0651	0,0673	0,0694	0,0713	0,0731	0,0748	0,0764
16	0,0409	0,0444	0,0476	0,0506	0,0534	0,0560	0,0584	0,0607	0,0628	0,0648	0,0667	0,0685
17	0,0305	0,0343	0,0379	0,0411	0,0442	0,0471	0,0497	0,0522	0,0546	0,0568	0,0588	0,0608
18	0,0203	0,0244	0,0283	0,0318	0,0352	0,0383	0,0412	0,0439	0,0465	0,0489	0,0511	0,0532
19	0,0101	0,0146	0,0188	0,0227	0,0263	0,0296	0,0328	0,0357	0,0385	0,0411	0,0436	0,0459
20		0,0049	0,0094	0,0136	0,0175	0,0211	0,0245	0,0277	0,0307	0,0335	0,0361	0,0386
21				0,0045	0,0087	0,0126	0,0163	0,0197	0,0229	0,0259	0,0288	0,0314
22						0,042	0,0081	0,0118	0,0153	0,0185	0,0215	0,0244
23								0,0039	0,0076	0,0111	0,0143	0,0174
24										0,0037	0,0071	0,0104
25												0,0035

Приложение 7

Граничные значения критерия W Шапиро-Уилка

n	α		n	α	
	0,05	0,01		0,05	0,01
3	0,767	0,753	27	0,923	0,894
4	0,748	0,687	28	0,924	0,896
5	0,762	0,686	29	0,926	0,898
6	0,788	0,713	30	0,927	0,900
7	0,803	0,730	31	0,929	0,902
8	0,818	0,749	32	0,930	0,904
9	0,829	0,764	33	0,931	0,906
10	0,842	0,781	34	0,933	0,908
11	0,850	0,792	35	0,934	0,910
12	0,859	0,805	36	0,935	0,912
13	0,866	0,814	37	0,936	0,914
14	0,874	0,825	38	0,938	0,916
15	0,881	0,835	39	0,939	0,917
16	0,887	0,844	40	0,940	0,919

17	0,892	0,851	41	0,941	0,920
18	0,897	0,858	42	0,942	0,922
19	0,901	0,863	43	0,943	0,923
20	0,905	0,868	44	0,944	0,924
21	0,908	0,873	45	0,945	0,926
22	0,911	0,878	46	0,945	0,927
23	0,914	0,881	47	0,946	0,928
24	0,916	0,884	48	0,947	0,929
25	0,918	0,888	49	0,947	0,929
26	0,920	0,891	50	0,947	0,930

Приложение 8

**Граничные значения коэффициентов корреляции r_α
($\alpha=0,05$ и $0,01$)**

n	α		n	α		n	α	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
5	0,878	0,959	19	0,456	0,575	33	0,344	0,442
6	0,811	0,917	20	0,444	0,561	34	0,339	0,436
7	0,754	0,874	21	0,433	0,549	35	0,334	0,430
8	0,707	0,834	22	0,423	0,537	36	0,329	0,424
9	0,666	0,798	23	0,413	0,526	37	0,325	0,418
10	0,632	0,765	24	0,404	0,515	38	0,320	0,413
11	0,602	0,735	25	0,396	0,505	39	0,316	0,408
12	0,576	0,708	26	0,388	0,496	40	0,312	0,403
13	0,553	0,648	27	0,381	0,487	45	0,294	0,380
14	0,532	0,661	28	0,374	0,478	50	0,279	0,361
15	0,514	0,641	29	0,367	0,470	60	0,254	0,330
16	0,497	0,623	30	0,361	0,463	70	0,235	0,306
17	0,482	0,606	31	0,355	0,435	80	0,220	0,286
18	0,468	0,590	32	0,349	0,407	90	0,207	0,270

Список рекомендованной литературы

1. Аулик, И.В. Как определить тренированность спортсмена [Текст] / И.В. Аулик. – М.: Физкультура и спорт, 1977. – 101 с.
2. Афанасьев, В.В. Основы отбора, прогноза и контроля в спорте [Текст] / В.В. Афанасьев, А.В. Муравьев, И.А. Осетров [и др.]. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2008. – 278 с.
3. Афанасьев, В.В. Теория вероятностей [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.В.Афанасьев. – М. : Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2007. – 352 с.
4. Афанасьев, В.В., Непряев, И.Н. Математическая статистика в командных видах спорта [Текст] : монография / В.В.Афанасьев, И.Н. Непряев. – 2-е изд. Перераб. и доп. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2007. – 168 с.
5. Благуш, П. К теории тестирования двигательных способностей [Текст]. - М. : ФиС, 1972.
6. Боровиков, В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов [Текст] / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
7. Верхошанский, Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов [Текст]. – М. : ФиС, 1988. – 331 с.
8. Волков, Н.И. Применение математической теории, планирования экспериментов для поиска оптимальной методики тренировки [Текст] / Н.И. Волков, В.М. Зациорский, Е.А.Разумовский, В.Н. Черемисинов // ТиПФК, – 1968. – № 7.
9. Годик, М.А. Контроль в процессе спортивной тренировки [Текст] // Подготовка футболистов. – М : ФиС, 1978.
10. Годик, М.А. Педагогический контроль как основа управления тренировочным процессом [Текст] // Вопросы управления тренировочным процессом подготовки спортсменов старших разрядов. – Л., 1972.
11. Годик, М.А. Спортивная метрология [Текст] : учебник для институтов физ. культ. – М. : Физкультура и спорт, 1988. - 192 с.
12. Губа В.П. Измерения и вычисления в спортивно-

- педагогической практике [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ В.П. Губа, М.П.Шестаков, Н.Б. Бубнов, М.П. Борисенков. – М. : ФиС, 2006.
13. Дьячков, В.М. Физическая подготовка спортсмена [Текст]. – М. : ФиС, 1967.
 14. Еськов, В.М. Компарментно-кластерный подход в исследованиях биологических динамических систем (БДС) [Текст] : монография. - Ч.1. Межклеточные взаимодействия в нейрогенераторных и биомеханических кластерах. – Самара, 2003. – 198 с.
 15. Зациорский, В.М. Основы спортивной метрологии [Текст]. – М. : Физкультура и спорт, 1982. - 254 с.
 16. Иванов, В.В. Комплексный контроль в подготовке спортсменов [Текст]. – М. : ФиС, 1987. – 256 с.
 17. Карпман, В.Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов [Текст] / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М : ФиС, 1974.
 18. Лакин, Г.Ф. Биометрия [Текст]. – М. : Высшая школа, 1980.
 19. Лях, В.И. Тесты в физическом воспитании школьников [Текст]: пособие для учителя. М.: ООО «Фирма «Издательство АСТ», 1998. – 272 с.
 20. Масальгин, Н.А. Математико-статистические методы в спорте [Текст]. – М. : ФиС. – 1972.
 21. Начинская, С.В. Спортивная метрология [Текст] : учебное пособие для вузов. – М., 2005. - 240 с.
 22. Озолин, Н.Г. Основы управления подготовкой юных спортсменов [Текст] // Теория и практика физической культуры. – 1982. – N 8. – С. 55-56.
 23. Основы математической статистики [Текст]: учебное пособие для институтов ФК / под общ. ред. В.С. Иванова. М. : ФиС, 1990. – 175 с.
 24. Основы управления подготовкой юных спортсменов [Текст] / Н.Н. Балашова, Г.А. Гончарова, В.В. Ивочкин и др. / под общ. ред. М.Я. Набатниковой. – М. : ФиС, 1982. - 280 с. : ил.
 25. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические

- приложения [Текст] / В.Н. Платонов. – Киев: Олимпийская литература, 2004 . –808 с.
- 26.Плохинский, Н.А. Алгоритмы биометрии [Текст]. – М. : МГУ. – 1980.
- 27.Смирнов, Ю.И., Полевщиков М.М. Спортивная метрология [Текст] / Ю.И. Смирнов, М.М. Полевщиков. – М. : Академия, 2000. – 232 с. .
28. Уткин, В.Л. Измерения в спорте (введение в спортивную метрологию) [Текст]. – М. : ГЦОЛИФК, 1978.
- 29.Федоров, А.И. Автоматизированная система «Reaction» [Текст]: методические указания и руководство для пользователя. – Челябинск : УралГАФК, 1996. – 34 с.
30. Хадарцев, А.А. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине [Текст]. : монография. - Часть IV. Обработка информации, системный анализ и управление (общие вопросы в клинике, в эксперименте) / А.А.Хадарцев, В.М. Еськов [и др.]. – Тула : ТулГУ, 2003. – 203 с.
- 31.Kenelly, A.E. Proc. Am. Acad. Arts and Science. – 1906. – V. 42. – №15.

Учебное издание

Владимир Васильевич Афанасьев,
Алексей Васильевич Муравьёв,
Игорь Александрович Осетров,
Павел Валентинович Михайлов

Спортивная метрология

Учебное пособие

Редактор С.А. Викторова

Подписано в печать 17.05.09
Формат 60×92/16. Объём 16,25 п.л. Тираж 300 экз.

Издательство Ярославского государственного педагогического
университета им. К.Д. Ушинского (ЯГПУ)
150000, Ярославль, Республиканская ул., 108

Типография ЯГПУ
150000, Ярославль, Которосльская наб., 44
Тел.: (4852) 32-98-69, 72-64-05