

Э. Г. Мартиросов, С. Г. Руднев, Д. В. Николаев

ПРИМЕНЕНИЕ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СПОРТЕ, СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ФИТНЕСЕ

Учебное пособие

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию
в области физической культуры и спорта в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по специальностям 032101 – Физическая культура и спорт,
032102 – Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии
здоровья (адаптивная физическая культура)*

Москва 2009

Издательство «Физическая культура»



УДК 572:796

М 29

Рецензенты:

Доктор медицинских наук, профессор А. В. Смоленский

Кандидат биологических наук, профессор В. В. Митин

Мартиросов Э. Г.

М 29 Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе : учеб. пособие / Э. Г. Мартиросов, С. Г. Руднев, Д. В. Николаев. – М. : Физическая культура, 2009. – 144 с.

ISBN 978-5-9746-0124-8

Предлагаемое учебное пособие обобщает и систематизирует современные достижения в области антропологических и биофизических методов изучения телосложения человека. Рассчитано на подготовку и повышение квалификации специалистов по физической культуре, спортивной медицине и фитнесу. Адресовано широкому кругу читателей, включая студентов и аспирантов физкультурных и педагогических вузов, спортивных антропологов, специалистов по оздоровительной физической культуре и фитнесу, врачей и научных работников, а также всех желающих освоить методы антропологических исследований.

УДК572:796

ISBN 978-5-9746-0124-8

© Мартиросов Э. Г., Руднев С. Г.,
Николаев Д. В., 2009

© Издательство «Физическая культура», 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	5
1. АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	7
1.1. ПРЕДМЕТ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СПОРТИВНОЙ АНТРОПОЛОГИИ	7
1.2. АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА	8
1.3. СОМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ИЗУЧАЕМЫЕ В СПОРТЕ, СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ФИТНЕСЕ	8
1.4. ПРАВИЛА И МЕТОДИКА АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ	12
1.4.1. Основные требования к организации обследования и инструментарий	12
1.4.2. Измерение высоты анатомических точек, диаметров, обхватных размеров тела	14
1.4.3. Калиперометрия	26
1.5. ТИПОВАЯ КАРТА АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ	32
1.5.1. Обработка результатов измерений	35
1.6. ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА И ЕГО СЕГМЕНТОВ	35
1.7. ОЦЕНКА УДЕЛЬНОГО ВЕСА ТЕЛА	39
1.8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	42
2. АНТРОПОМЕТРИЯ И СОСТАВ ТЕЛА	44
2.1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИЗБЫТОЧНОСТИ И ДЕФИЦИТА МАССЫ ТЕЛА	44
2.2. СОСТАВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА	51
2.2.1. Варианты динамики состава тела у спортсменов	52
2.2.2. Модели состава тела	54
2.3. АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТАВА ТЕЛА	59
2.3.1. Оценка жировой массы	59
2.3.2. Оценка мышечной массы	64
2.3.3. Оценка безжировой массы	67
2.3.4. Оценка скелетной массы	70

2.4. ОЦЕНКА МАСС СЕГМЕНТОВ ТЕЛА	73
2.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	76
3. БИОИМПЕДАНСНЫЙ АНАЛИЗ	78
3.1. ОБОРУДОВАНИЕ.....	86
3.2. МЕТОДИКА ОБСЛЕДОВАНИЯ.....	90
3.2.1. Предварительный этап.....	90
3.2.2. Процедура обследования.....	90
3.3. БЕЗОПАСНОСТЬ МЕТОДА.....	93
3.4. РЕГИОНАЛЬНАЯ И ЛОКАЛЬНАЯ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИЯ	94
3.5. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕТОДА	97
3.5.1. Оценка погрешностей, возникающих при расчете показателей состава тела вследствие ошибок измерения длины, массы тела и активного сопротивления	97
3.5.2. Оценка погрешности, связанной с нарушением требований к процедуре измерений.....	98
3.6. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ	102
3.6.1. Экспресс-анализ.....	102
3.6.2. Динамические наблюдения.....	102
3.7. ВЫВОДЫ	106
3.8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	108
СЛОВАРЬ СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРОГРАММА КУРСА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СЛУШАТЕЛЕЙ ИПК И ППКК РГУФК ПО ТЕМЕ: «ПРИМЕНЕНИЕ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В СПОРТЕ, СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ФИТНЕСЕ»	114

От авторов

Многочисленные исследования, выполненные в нашей стране и за рубежом, показали, что успешность соревновательной деятельности атлетов в выбранной спортивной специализации в значительной мере определяется морфологическими особенностями организма. Эти особенности оказывают существенное влияние на проявления силы, скорости, выносливости, реактивность организма и его адаптацию к факторам внешней среды. В целом, они определяют физическую дееспособность человека (Башкиров и соавт., 1968; Чоговадзе, Израэль, 1968; Tittel, Wutscherk, 1972; Туманян, Мартиросов, 1976).

Несмотря на признание специалистами спорта и спортивной медицины значимости антропологических исследований и необходимости учета морфологических особенностей человека, во многих физкультурных вузах страны было прекращено чтение курса спортивной антропологии и морфологии. В педагогических университетах, выпускающих преподавателей физического воспитания, этот курс так и не был широко внедрен из-за нехватки кадров и отсутствия необходимой литературы. Последнее наиболее полное пособие по методам исследований в спортивной антропологии издавалось 25 лет назад (Мартиросов, 1982).

В медицинских вузах, готовящих специалистов по врачебному контролю в спорте, и на кафедрах педиатрии слушателей, к сожалению, не знакомят с современными антропологическими методами оценки физического развития человека. Недостаточная фундаментальная функционально-антропологическая подготовка специалистов по физическому воспитанию и спорту, врачебному контролю, валеологии и спортивной медицине существенно снижает эффективность их дальнейшей профессиональной деятельности. Думаем, что такую точку зрения разделят не только специалисты в указанных областях, но и организаторы образования в области здоровья и спорта.

В предлагаемом учебном пособии рассматривается практическое применение основных антропологических методов – антропометрии и биоимпедансного анализа – в спорте, спортивной медицине и фитнесе.

Пособие содержит три раздела. *В первом разделе* рассматриваются антропометрические методы исследования морфологической изменчивости человека. *Второй раздел* посвящен описанию моделей и методов изучения состава тела. Приводятся прогнозирующие формулы для оценки состава тела на основе антропометрии для разных популяций. *В третьем разделе* рассматривается метод биоимпедансного анализа состава тела. В конце каждого раздела имеются вопросы для самоконтроля. В приложении приводится программа курса повышения квалификации слушателей ИПК и ППКК РГУФК по теме: «Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе» и список литературы для самостоятельного изучения. Также имеется краткий терминологический словарь. Используемая в тексте анатомическая терминология приведена в соответствие с международной анатомической номенклатурой.¹

Пособие адресовано студентам, бакалаврам, магистрантам, аспирантам физкультурных вузов, спортивным антропологам, специалистам в области оздоровительной физической культуры и фитнеса, врачам и научным работникам. Оно может представлять интерес для студентов и преподавателей курсов спортивной антропологии и морфологии, спортивной медицины, врачебного контроля медицинских вузов, факультетов физического воспитания педагогических вузов и антропологических отделений биологических факультетов университетов, а также для всех желающих самостоятельно освоить методы антропологических исследований.

Авторы выражают благодарность научным сотрудникам лаборатории одаренности к экстремальной и спортивной деятельности НИИ фундаментальных и прикладных проблем спорта Российского государственного университета физической культуры, спорта и туризма Т.Ф. Романовой, М.М. Семенову и В.В. Трускалову за активную помощь в подготовке пособия.

¹ Международная анатомическая терминология / Под редакцией Л.Л. Колесникова. М.: Медицина, 2003. 424 с.

1. Антропометрические методы исследования

1.1. Предмет, цели и задачи спортивной антропологии

Антропология – это область естествознания, которая изучает происхождение и эволюцию физической организации человека и его рас (Рогинский, Левин, 1978). В отличие от других биологических наук о человеке, основным содержанием антропологии является всестороннее изучение нормальной (не патологической) изменчивости физического типа человека (Бунак, 1941).

Спортивная антропология является одним из направлений общей антропологии и одновременно – составной частью наук о спорте. Таким образом, она представляет собой раздел прикладной антропологии. *Спортивная антропология* изучает закономерности морфологических, морфофизиологических и соматопсихологических изменений, происходящих в организме человека под влиянием спортивной деятельности при различных условиях внешней среды и в связи со спортивными достижениями, а также после окончания спортивной деятельности и в процессе старения спортсменов (Tittel, Wutscherk, 1972; Мартиросов, 1982).

Спортивная антропология синтезирует опыт, знания и использует методы ряда смежных наук, таких как анатомия, физиология, психофизиология, генетика, экология, психология, биофизика и другие. Она опирается на концепции и методы антропологии, однако предмет исследований заимствует среди целей и задач спортивной науки.

В соответствии с целями спортивной науки, основные задачи спортивной антропологии состоят в выяснении взаимосвязей морфофункционального и морфо-психофизиологического статуса спортсмена со спортивными достижениями и способностью к развитию максимальной работоспособности в конкретном виде спорта; в выделении факторов, определяющих спортивную одаренность, в разработке алгоритмов управления формированием биологической системы “спортсмен”.

1.2. Антропологические методы исследования морфологической изменчивости человека

Основным методом изучения морфологической изменчивости человека, его морфологического развития, является *метод антропометрии*, который заключается в измерении размеров тела, или соматометрии (собственно антропометрии) – измерении живого человека.

Описательный раздел антропометрии – *антропоскопия* – связан с качественной характеристикой различных частей тела – туловища, конечностей, головы, лица, кожи, волос, цвета глаз и др.

Метод антропометрии, который давно и активно используется в антропологии, спортивной антропологии, врачебном контроле, а сегодня и в фитнесе, на первый взгляд является простым. Однако такое представление ошибочно. Для получения объективных результатов при выполнении антропометрических измерений требуется хорошее знание анатомии человека, локализации основных измерительных точек скелета (выступов костей, бугров, гребней, краев эпифизов), определенных складок кожи, специфических кожных образований, областей на поверхности тела (надключичной, подключичной, грудной, грудинной, пупочной и др.).

Надежные результаты измерений могут быть получены лишь при строгом соблюдении соответствующих требований, инструкций, и использовании специального проверенного инструментария. Пренебрежительное отношение к требованиям стандартизации при антропологических измерениях приводит к получению несопоставимых результатов.

1.3. Соматические показатели, изучаемые в спорте, спортивной медицине и фитнесе

Из всей совокупности показателей морфологического развития человека как в спорте, так и в оздоровительной физической культуре наибольшее внимание привлекают *тотальные* размеры тела (рис. 1). Выделяют *весовые* и *пространственные* размеры; из весовых – массу тела (кг), из пространствен-

ных – линейные – длину тела (см), периметр (обхват) грудной клетки (см), объемные – объем тела (л, м³) и поверхностные размеры тела – площадь поверхности тела (м²). Большое значение имеют *соотношения тотальных размеров тела*.

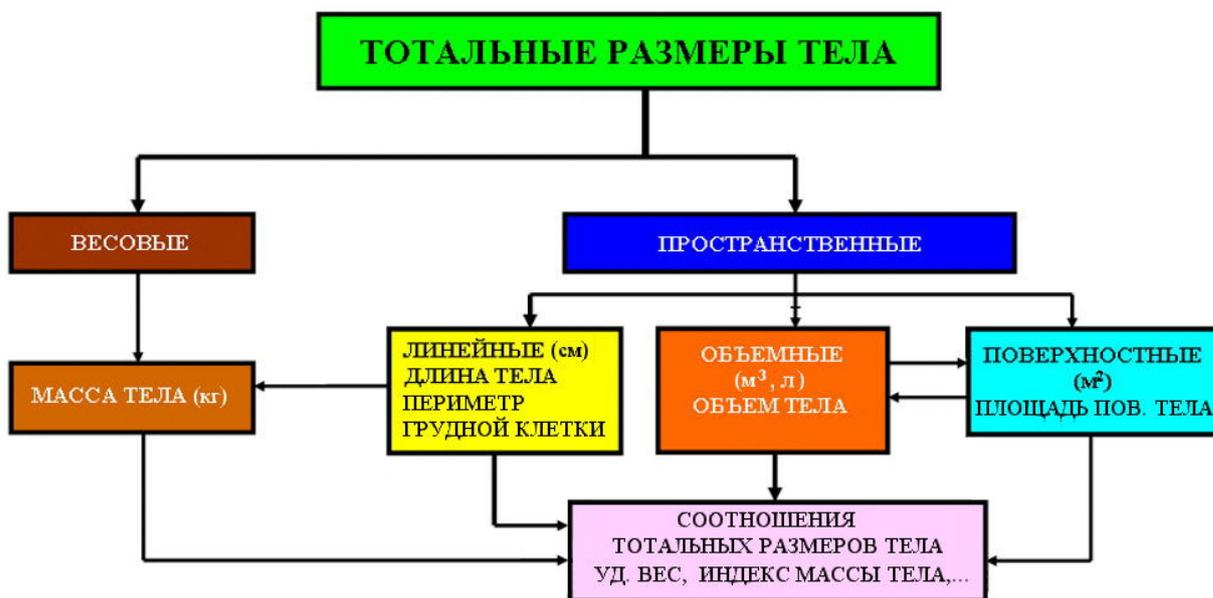


Рис. 1. Классификация и функциональные связи тотальных размеров тела

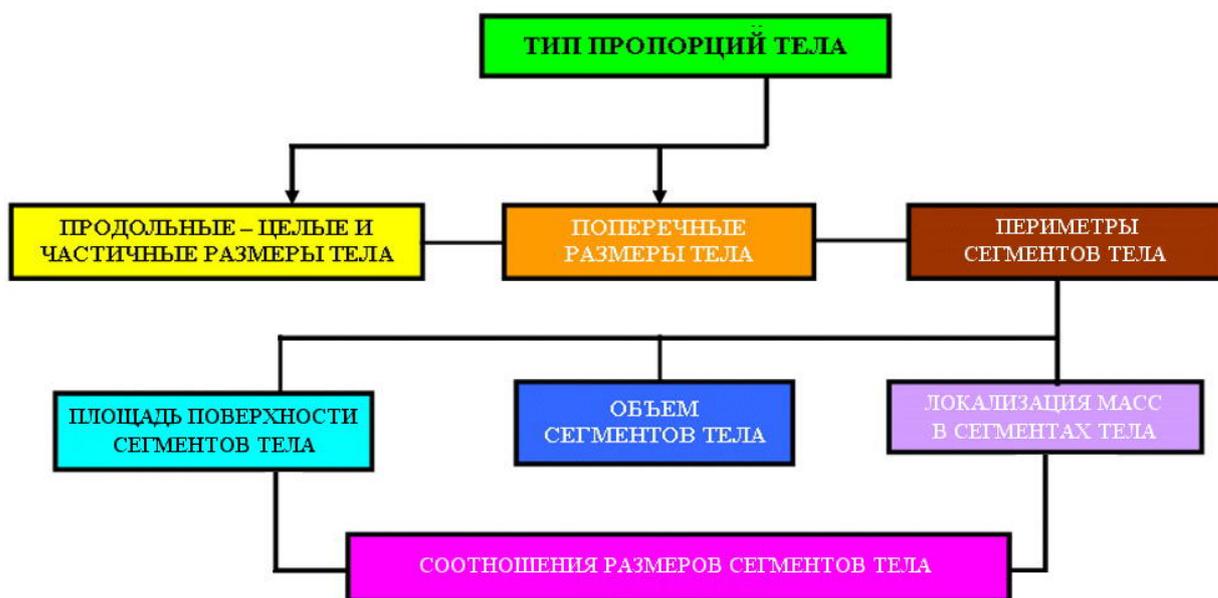


Рис. 2. Пропорции тела

При изучении *пропорций* тела необходимо выделять тип пропорций, продольные целые и частичные размеры тела, поперечные и обхватные раз-

меры сегментов тела, площадь их поверхности, объем, локализацию масс, а также соотношение размеров сегментов тела, ориентированных в различных плоскостях и измеряемых различными физическими величинами (рис. 2).



Рис. 3. Модели состава тела

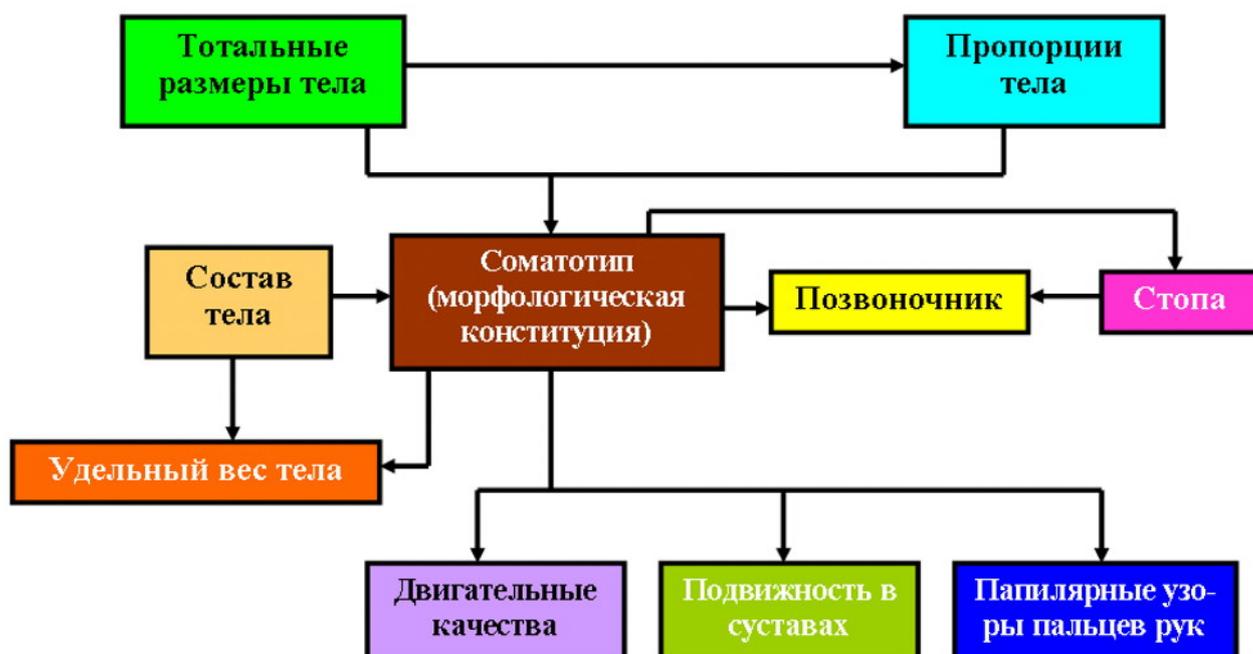


Рис. 4. Соматологические показатели спортивного мастерства

В последние годы, наряду с перечисленными выше показателями особый интерес вызывают показатели состава тела. На рис. 3 приведены основные модели состава тела. Они содержат лабильные фракции массы тела, имеющие различную метаболическую активность, которые являются достаточно информативными индикаторами состояния тренированности, работоспособности, адаптации к различным нагрузкам и способности к восстановлению после них. Показатели состава тела, такие как *жировая, тощая и мышечная масса тела*, широко используются для изучения соматического статуса и оценки эффективности тренировочных нагрузок индивидов, занимающихся фитнесом (Хоули, Дон Френкс, 2004; Николаев и соавт., 2007).

На рис. 4 представлены соматологические показатели спортивного мастерства, с помощью которых во многом определяют пригодность к конкретной спортивной деятельности и успешность выступления в соревнованиях. Такими показателями являются тотальные размеры тела, тип пропорций тела, состав тела, соматотип, состояние позвоночного столба и его отделов, состояние стоп, строение суставов и подвижность в них, мышечная сила, удельный вес тела, папиллярные узоры пальцев рук.

1.4. Правила и методика антропометрических измерений

1.4.1. Основные требования к организации обследования и инструментарий

1.4.1.1. Место для измерений

При массовых обследованиях целесообразно использовать в качестве раздевалки и для измерений отдельные смежные помещения. В помещении для измерений необходимо поддерживать постоянную комфортную температуру. Пол рекомендуется покрывать ковриком, чтобы испытуемый не стоял босыми ногами на холодной поверхности. Поверхность пола должна быть ровной и строго горизонтальной, освещение – равномерным и достаточным.

1.4.1.2. Время обследования

Лучшее время для антропометрических измерений – утром натощак или через 2–3 ч после приема пищи. При необходимости проведения измерений в середине дня или в вечернее время измеряемому рекомендуется провести перед обследованием 10–15 мин в положении лежа (при усталости – больше), поскольку к середине дня длина тела человека снижается, как правило, на 2–4 см, что связано со снижением тонуса мышц, поддерживающих позвоночный столб в вертикальном положении.

1.4.1.3. Положение тела измеряемого

Изменяемый находится в естественной, характерной для него позе в положении типа команды «смирно»: пятки вместе, носки врозь, ноги выпрямлены, живот подбран, руки опущены вдоль туловища, кисти свободно свисают, пальцы выпрямлены и прижаты друг к другу; движения пояса верхних конечностей в период измерений недопустимы; голова фиксируется так, чтобы верхний край козелка ушной раковины и нижний край глазницы находились в одной горизонтальной плоскости.

Эту позу необходимо сохранять на протяжении всего измерения, чтобы обеспечить постоянство пространственного соотношения антропометрических точек. В связи с этим исследователь и его помощник, который запи-

сывает результаты измерений, должны контролировать позу измеряемого (особенно это важно при измерении детей).

Основные измерения антропометром должны выполняться точно и быстро (не более 2–3 мин), пока измеряемый сохраняет изначально принятое положение без особых затруднений. Если он устает и меняет позу, то можно разрешить ему, не сходя с места, расслабиться на 20–30с, затем снова установить его в стандартном положении и продолжить измерение. Однако это нежелательно. К данному способу приходится прибегать в основном при обследовании детей.

Форма одежды обследуемых при выполнении антропометрических измерений – трусы, купальник или плавки, обувь необходимо снять.

1.4.1.4. Организация измерений

При массовых антропометрических обследованиях рекомендуется поточная схема измерений при одновременном участии нескольких исследователей: один выполняет измерения антропометром, другой – толстотным циркулем, третий – калипером и сантиметровой лентой и т.д. Испытуемый должен переходить от одного исследователя к другому, а помощник, регистрирующий результаты измерений в специальном бланке, следует за испытуемым. По окончании измерений необходимо проверить качество записей на предмет возможных ошибок.

Для одновременного обследования желательно подбирать группы индивидов одного пола и возраста. Чтобы измеряемые не ждали своей очереди в раздетом состоянии, последующего пациента следует готовить к моменту окончания измерения предыдущего. В ходе измерений исследователь должен сохранять известный такт, учитывать индивидуальность обследуемого.

1.4.1.5. Инструментарий

Основным методом изучения особенностей телосложения человека является антропометрия. Он предусматривает определение продольных, глубинных, поперечных, обхватных размеров тела, массы тела, толщины кожно-жировых складок. Основным инструментарием при антропометрических измерениях

является антропометр, толстотный циркуль, скользящий циркуль, калипер. Для измерения изгибов отделов позвоночника и подвижности в суставах применяются гониометры.

Продольные размеры тела измеряют антропометром (рис. 5).

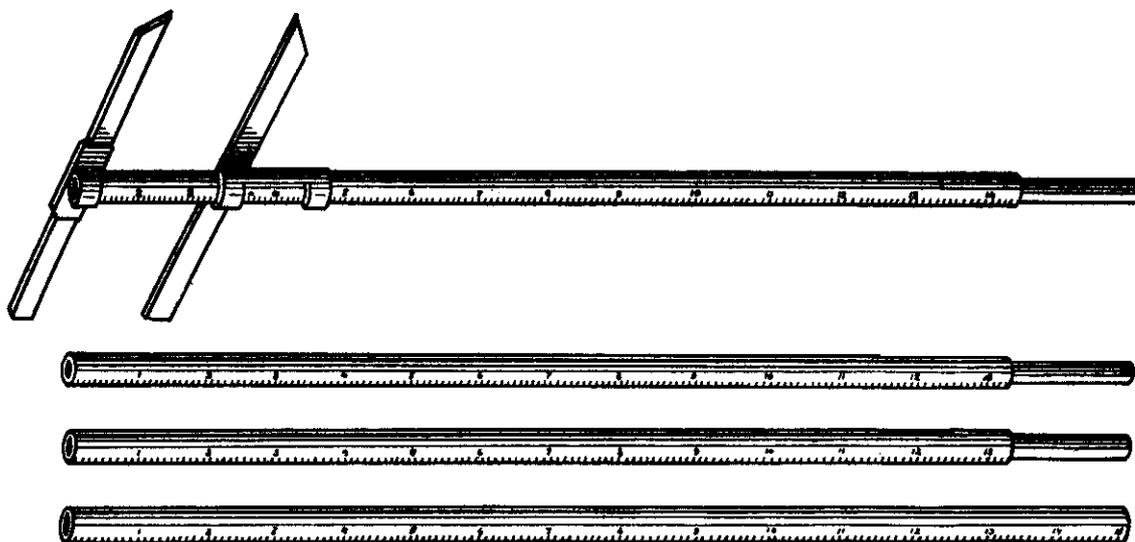


Рис. 5. Металлический штанговый антропометр Мартина в разобранном виде

Антропометр состоит из четырех отдельных частей, на которые нанесена сантиметровая шкала с минимальной ценой делений 1 мм. Для подготовки антропометра к работе необходимо соединить между собой его отдельные части. Общая длина антропометра составляет 220–230 см. Собирать антропометр необходимо так, чтобы шкала, нанесенная на нижние части антропометра, служила продолжением шкалы верхнего звена. После окончания работы или при необходимости транспортировки антропометра его разбирают и укладывают в специальный мягкий чехол.

1.4.2. Измерение высоты анатомических точек, диаметров, обхватных размеров тела

1.4.2.1. Анатомические точки на теле человека

На рис. 6 показаны анатомические точки на теле человека, используемые при антропометрических измерениях.

1.4.2.2. Измерение высоты анатомических точек

Верхушечная точка – наиболее высокая точка при стандартном положении головы. Исследователь стоит справа от измеряемого и, держа антропометр в правой руке, устанавливает его строго вертикально в срединной вертикальной плоскости; линейку направляет на верхушечную точку и фиксирует ее левой рукой (линейка должна плотно касаться темени) (рис. 7а,б). При высокой прическе волосы следует предварительно расправить.

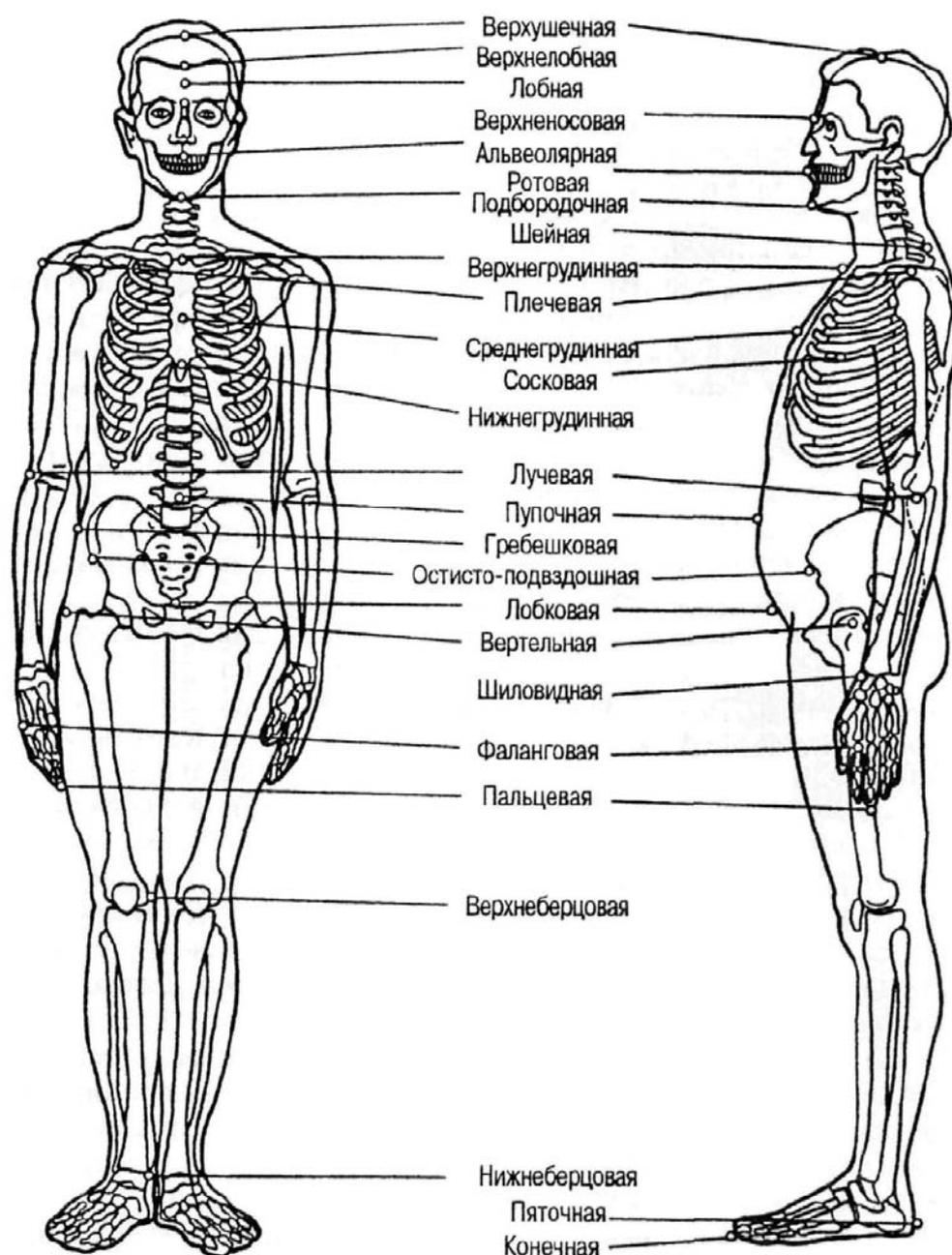


Рис. 6. Анатомические точки, используемые при антропометрических измерениях

Верхнегрудинная точка – соответствует середине края яремной вырезки, рукоятки грудины. Исследователь стоит справа от измеряемого. Подвижную коробку антропометра необходимо опустить вдоль штанги, выдвинуть нижнюю линейку на 15–20 см, нащупать рукой точку и приложить к ней свободный конец опущенной линейки (рис. 8а,б).

Акромиальная (плечевая) точка – наружная точка акромиального отростка лопатки (рис. 9а,б).

При отыскании точки необходимо прощупать вначале ость лопатки и, поднимаясь по ней вверх, определить положение плечевой точки. Для проверки правильности нахождения ее необходимо движением руки в плечевом суста-



Рис. 7а. Измерение высоты верхушечной точки – общий план



Рис. 8а. Измерение высоты верхнегрудинной точки – общий план



Рис. 7б. Измерение высоты верхушечной точки – крупный план



Рис. 8б. Измерение высоты верхнегрудинной точки – крупный план

ве проверить устойчивость точки: если она подвижна, значит, произошла ошибка в ее определении.

При измерении высоты плечевой точки над полом исследователь стоит лицом к измеряемому, антропометр держит в вертикальном положении и устанавливает в сагиттальной плоскости, проходящей через измеряемую точку (рис. 9а,б).

Лучевая точка – соответствует верхнему краю головки лучевой кости. Последняя определяется прощупыванием на дне лучевой ямки под наружным надмыщелком плечевой кости. Исследователь стоит сбоку от испытуемого, лицом



Рис. 9а. Измерение высоты акромиальной точки – общий план



Рис. 10а. Измерение высоты лучевой точки – общий план



Рис. 11б. Измерение высоты шиловидной точки – крупный план



Рис. 9б. Измерение высоты акромиальной точки – крупный план



Рис. 10б. Измерение высоты лучевой точки – крупный план



Рис. 11а. Измерение высоты шиловидной точки – общий план

к измеряемой точке (рис. 10а,б).

Шиловидная точка – нижняя точка шиловидного отростка лучевой кости (рис. 11а,б).

Пальцевая точка – соответствует наиболее низкой точке дистальной фаланги третьего пальца кисти. Измеряется при остриженных ногтях, без давления на мягкие ткани (рис. 12).

Верхняя передняя подвздошно-остистая точка – наиболее выдающаяся точка, соответствующая верхней передней подвздошной ости (рис. 13а,б).

Лобковая точка – соответствует верхнему краю



Рис. 12. Измерение высоты пальцевой точки



Рис. 13а. Измерение высоты верхней подвздошно-остистой точки – общий план



Рис. 13б. Измерение высоты верхней подвздошно-остистой точки – крупный план



Рис. 14а. Измерение высоты лобковой точки – общий план

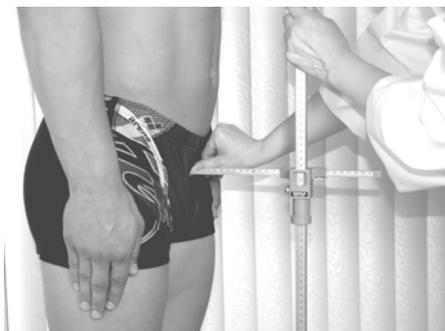


Рис. 14б. Измерение высоты лобковой точки – крупный план

лобкового симфиза (рис. 14а,б). Она лежит примерно на границе волосистой части. Определяется эта точка прощупыванием верхнего края лонного сочленения через переднюю стенку живота по срединной линии. Это легко сделать, если попросить испытуемого втянуть живот после предварительного выдоха.

Верхнеберцовая внутренняя точка

– соответствует середине внутреннего мыщелка большеберцовой кости. Определяется прощупыванием суставной щели коленного сустава с внутренней стороны (для этого надо попросить испытуемого, не сходя с места, слегка присесть и вновь восстановить прежнюю позу) и фиксацией верхней точки середины внутреннего мыщелка большеберцовой кости (рис. 15а,б).

Нижнеберцовая точка – самая нижняя точка внутренней лодыжки. Измерение рекомендуется проводить скользящим циркулем с привернутой муфтой (рис. 16а,б). Если же приходится пользоваться антропометром, надо подвести линейку антропометра к нижнеберцовой точке снизу и зафиксировать



Рис. 15а. Измерение верхнеберцовой точки – общий план



Рис. 15б. Измерение верхнеберцовой точки – крупный план



Рис. 16а. Измерение высоты нижнеберцовой точки – общий план



Рис. 16б. Измерение высоты нижнеберцовой точки – крупный план

значение ее высоты над полом. В этом случае измеряемый помогает удерживать антропометр в вертикальном положении.

1.4.2.3. Измерение диаметров тела

Поперечные размеры тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях измеряют *большим толстотным циркулем* с согнутыми или прямыми ножками (рис. 17), а также *большим и малым штанговыми и скользящими циркулями* или верхней штангой антропометра. При измерении диаметров конечностей пользуются малым толстотным или скользящим циркулем. Антропометрические точки прощупывают пальцами. Нажим ножек циркуля должен быть во всех случаях одинаковым. Мягкие ткани при этом слегка сжимаются.

Акромиальный (плечевой) диаметр (ширина плеч) – расстояние между правой и левой акромиальными (плечевыми) точками. Измерение легче проводить спереди (рис. 18).

Дельтовидный диаметр – расстояние между двумя дельтовидными точками, соответствующими наружным контурам дельтовидных мышц. Измерение лучше проводить верхней штангой антропометра (рис. 19).

Среднегрудинный поперечный диаметр грудной клетки – горизонтальное расстояние между наиболее выступающими точками боковых поверхностей грудной клетки на уровне среднегрудинной точки, что соответствует уровню верхнего края четвертых ребер.



Рис. 17. Большой толстотный циркуль

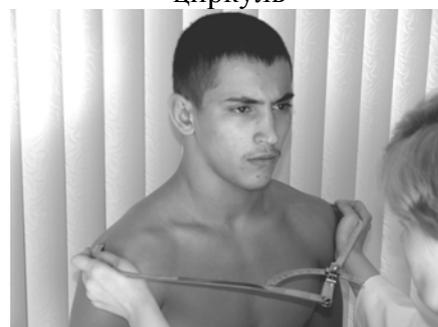


Рис. 18. Измерение акромиального диаметра

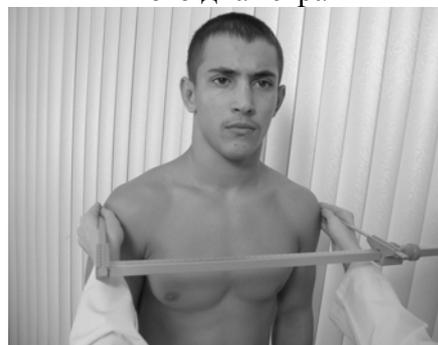


Рис. 19. Измерение дельтовидного диаметра



Рис. 20. Измерение среднегрудинного поперечного диаметра грудной клетки

Ножки толстотного циркуля устанавливаются по среднеподмышечным линиям с обеих сторон грудной клетки (рис. 20).

Нижнегрудинный поперечный диаметр грудной клетки – горизонтальное расстояние между наиболее выступающими точками боковых поверхностей грудной клетки на уровне нижнегрудинной точки.

Переднезадний (сагиттальный) среднегрудинный диаметр грудной клетки – измеряется в горизонтальной плоскости по сагиттальной оси на уровне среднегрудинной точки. Одна ножка циркуля устанавливается на среднегрудинной точке, другая – на позвоночнике при строго горизонтальном положении линейки (рис. 21а,б).

Гребневый (тазогребневый) диаметр – наибольшее расстояние между двумя подвздошно-гребневыми точками, т. е. расстояние между наиболее удаленными друг от друга точками подвздошных гребней. Измеряется при достаточно сильном нажиме толстотным циркулем (рис. 22).

Вертельный диаметр – расстояние между наиболее выступающими точками больших вертелов бедренных костей. Измерение выполняется большим толстотным циркулем (рис. 23).

Наружнобедренный диаметр – горизонтальное расстояние между наиболее высту-



Рис. 21а. Измерение переднезаднего среднегрудинного диаметра грудной клетки – вид спереди и сбоку



Рис. 21б. Измерение переднезаднего среднегрудинного диаметра грудной клетки – вид сзади



Рис. 22. Измерение тазогребневого диаметра



Рис. 23. Измерение вертельного диаметра

пающими точками верхней части бедер. Измерение выполняется верхней штангой антропометра, обязательно горизонтально, без сдавливания мягких тканей.

Поперечный диаметр дистальной части плеча – наибольшее расстояние по горизонтали между наружным и внутренним надмыщелками плечевой кости. Измерение проводится толстотным циркулем или скользящим циркулем с дополнительной насадкой длинными ножками (рис. 24).



Рис. 24. Измерение поперечного диаметра дистальной части плеча



Рис. 26. Измерение поперечного диаметра дистальной части бедра

Поперечный диаметр дистальной части предплечья – наибольшее расстояние по горизонтали между шиловидными отростками лучевой и локтевой костей (рис. 25).



Рис. 25. Измерение поперечного диаметра дистальной части предплечья



Рис. 27. Измерение поперечного диаметра дистальной части голени



Рис. 28. Измерение ширины кисти

Поперечный диаметр дистальной части бедра – наибольшее расстояние по горизонтали между внутренним и наружным надмыщелками бедренной кости (рис. 26).

Поперечный диаметр дистальной части голени – наибольшее расстояние по горизонтали между наружной и внутренней лодыжками голени (рис. 27).

Ширина кисти – прямолинейное расстояние между головками 2-й и 5-й пястных костей. Измерение проводится скользящим циркулем, ножки которого с внешней стороны подводятся к названным точкам (рис. 28). Можно пользоваться также специальным кистемером.

Длина кисти – наименьшее расстояние от линии, соединяющей верхушки шиловидных отростков лучевой и локтевой костей, до пальцевой точки. Измерение выполняется скользящим циркулем. Длина кисти определяется также как разность между высотой над полом шиловидной и пальцевой точек (при измерении антропометром).

Длина стопы – расстояние между наиболее выступающей сзади точкой пятки и самой дальней от неё точкой на конце первого или второго пальца (рис. 29). Измерение проводится штанговым или скользящим циркулем или специальным стопомером.

Плюсневая ширина стопы – расстояние между наружной (наиболее выдающейся на наружном крае стопы в области головки пятой плюсневой кости) и внутренней (наиболее выдающейся на внутреннем крае стопы в области головки первой плюсневой кости) плюсневыми точками (рис. 30). Измерение проводится штанговым или скользящим циркулем или специальным стопомером.

1.4.2.4. Измерение обхватных размеров тела

Измерение проводится в стандартном положении испытуемого, в горизонтальной плоскости. Стоя перед испытуемым, исследователь накладывает



Рис. 29. Измерение длины стопы



Рис. 30. Измерение плюсневой ширины стопы

полотняную сантиметровую ленту так, чтобы нулевое деление ленты находилось спереди и в поле зрения, а другой конец её – над нулевым концом, и отмечает деление, приходящееся против последнего. Лента должна плотно прилегать к измеряемой части тела, но без вдавливания в кожу.

Обхват головы – лента проходит через наиболее выступающую область затылка и точку надпереносья, наиболее выступающую вперёд между бровями по срединной линии (рис. 31).



Рис. 31. Обхват головы

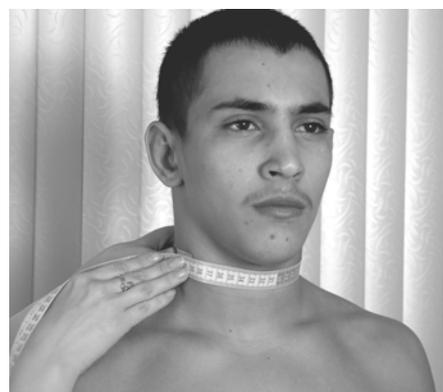


Рис. 32. Обхват шеи

Обхват шеи – измеряется под щитовидным хрящом (рис. 32).

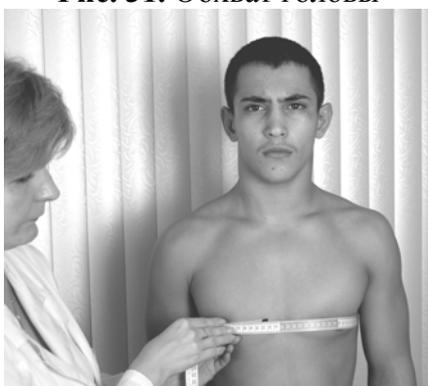


Рис. 33а. Обхват грудной клетки (вид спереди)



Рис. 33б. Обхват грудной клетки (вид сзади)

Обхват груди (грудной клетки) – лента проходит сзади под нижними углами лопаток спереди, у



Рис. 34. Обхват живота



Рис. 35. Обхват талии

мужчин и детей – на уровне сосков (рис. 33а,б), у женщин – по верхнему краю грудной железы. Обхват груди измеряется в трёх состояниях: при глубоком вдохе, глубоком выдохе и в промежуточном состоянии.

Обхват живота измеряется на уровне пупочной точки в момент паузы между вдохом и выдохом (рис. 34).

Обхват талии: сантиметровая лента накладывается на 5–6 см выше подвздошных гребней (рис.35).

Обхват через ягодицы – лента проходит через наиболее выступающие области ягодиц (рис. 36).

Обхват бедра – исходное положение измеряемого: ноги на ширине плеч, вес тела равномерно распределён на обе ноги. Лента накладывается на бедро под ягодичной складкой (рис. 37).

Обхват голени – измеряется в месте наибольшего развития икроножной мышцы. Положение испытуемого то же, что и при измерении обхвата бедра (рис. 38). Измерение *обхвата дистальной части голени* показано на рис. 39.



Рис. 36. Обхват через ягодицы



Рис. 37. Обхват бедра



Рис. 38. Обхват голени



Рис. 39. Обхват дистальной части голени



Рис. 40. Обхват плеча в спокойном состоянии



Рис. 41. Обхват напряженного плеча

Обхват плеча в спокойном состоянии – измеряется в месте наибольшего развития мышц плеча. Рука свободно свисает, мышцы расслаблены (рис. 40).

Обхват напряжённого плеча – испытуемый поднимает руку в горизонтальное положение, сгибает её в локтевом суставе и максимально напрягает мышцы плеча. Измерение выполняется в наиболее широкой части плеча (рис. 41).

Обхват предплечья – измеряется в месте наибольшего развития мышц на свободно свисающей руке, мышцы расслаблены (рис. 42).

Иногда измеряется *обхват дистальной части предплечья* (рис. 43).

1.4.2.5. Измерение массы тела

Масса тела определяется на медицинских весах с точностью до 50 г. Перед взвешиванием необходимо проверить точность их установки. При использовании электронных весов погрешность определения массы тела составляет 10 г.

1.4.3. Калиперометрия

Метод калиперометрии состоит в измерении толщины кожно-жировых складок на определённых участках тела при помощи специальных устройств – калиперов (рис. 44). Исторически, калиперометрия явилась одним из первых методов, использованных для прижизненного изучения состава тела, а разработанные на её основе формулы для определения состава тела хорошо себя зарекомендовали для решения многих задач спортивной, оздоровительной и клинической медицины. В разработке общих принципов измерений калипером и формул для изучения состава тела для разных популяций участвовали многие исследователи. Большое количество результатов по данной те-



Рис. 42. Обхват предплечья



Рис. 43. Обхват дистальной части предплечья

матике было получено в середине 1970-х и 1980-х годов сотрудниками Московского университета Н.Ю. Лутовиновой, М.И. Уткиной и В.П. Чтецовым.

1.4.3.1. Оборудование

В настоящее время в мире производится большое количество различных моделей калиперов, отличающихся конструктивными особенностями, точностью измерения толщины складок, условиями применения, ценой и другими показателями. Наиболее часто в клинической практике и научных исследованиях при-

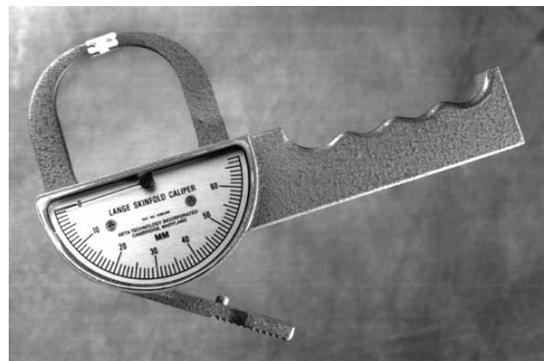


Рис. 44. Калипер Ланге

меняется металлический калипер Ланге (Beta Technology, США) (рис. 44), выпускаемый с 1962 г., конструкция которого соответствует современным требованиям, предъявляемым к подобным устройствам. Наряду с металлическими калиперами производятся пластиковые устройства, которые характеризуются меньшей точностью и не рекомендуются для научных исследований. Площадь контактных плоскостей калипера Ланге составляет 30 мм². Возможно измерение кожно-жировых складок толщиной до 60 мм с погрешностью 1 мм. Исследования показали, что стандартное давление в участке соприкосновения калипера с кожей, равное 10 г/мм², обеспечивает оптимальную точность определения состава тела по сравнению с более высокими и более низкими значениями. При этом за счёт низкого коэффициента трения в опорных точках подпружиненных дуг калипера, контактные плоскости которых ориентированы параллельно друг другу, эта величина сохраняется практически постоянной при измерении толщины складки в широком диапазоне – от 0 до 40 мм и выше.

1.4.3.2. Измерение кожно-жировых складок

Для характеристики степени ожирения непрямым методом измеряют кожно-жировые складки на различных участках тела. В соответствии с требованиями, складка должна быть ориентирована определенным образом

(вертикально, горизонтально или наискосок). В зависимости от эластических свойств кожи толщина кожно-жировых складок, взятых в одном и том же месте, но ориентированных в разных направлениях, бывает различной. Обычно рекомендуется измерять продольную складку, иногда – продольную и поперечную. После этого определяют среднюю величину, характеризующую толщину кожно-жировой складки в данном участке тела. При измерении кожно-жировых складок необходимо пользоваться калипером с постоянным давлением на складку, равным 10 г/мм^2 .

Исследователь захватывает двумя пальцами левой руки участок кожи (на конечностях – шириной 2–3 см, на туловище – до 5 см), и, не вызывая болезненного ощущения у обследуемого, слегка оттягивает ее и накладывает на образовавшуюся складку ножки калипера, фиксируя толщину складки. Регистрируется непосредственная величина кожно-жировой складки или половина ее, т.е. толщина подкожного жирового слоя вместе с кожей. Складку необходимо брать быстро, она должна быть равномерной по толщине.

Для общей характеристики степени жиротложения измеряют следующие складки:

Под нижним углом лопатки – складка измеряется под правой лопаткой в косом направлении (сверху вниз, изнутри кнаружи, рис. 45а,б).

На задней поверхности плеча – складка измеряется при опущенной руке в верхней трети плеча в области трехглавой мышцы, ближе к ее внутреннему краю. Складка берется на правой руке вертикально (рис. 46).



Рис. 45а. Измерение кожно-жировой складки под лопаткой – общий план



Рис. 45б. Измерение кожно-жировой складки под лопаткой – крупный план

На передней поверхности плеча – складка измеряется на правой руке в верхней трети внутренней поверхности плеча, в области двуглавой мышцы (на том же уровне, что и предыдущая складка). Складка берется вертикально (рис. 47).

На передней поверхности предплечья – складка измеряется на внутренней поверхности правого предплечья, в наиболее широком месте. Складка берется вертикально (рис. 48).

На передней поверхности груди – складка измеряется под правой грудной мышцей по передней подмышечной линии. Складка берется в косом направлении: сверху–вниз, снаружи–кнутри (рис. 49).

На передней стенке живота – складка измеряется на уровне пупка справа от него на расстоянии 5 см. Берется она обычно вертикально, но если измерения вертикально произвести трудно, то горизонтально (рис. 50).



Рис. 46. Измерение кожно-жировой складки на задней поверхности плеча



Рис. 47. Измерение кожно-жировой складки на передней поверхности плеча



Рис. 48. Измерение кожно-жировой складки на передней поверхности предплечья



Рис. 49. Измерение кожно-жировой складки на передней поверхности груди



Рис. 50. Измерение кожно-жировой складки на передней стенке живота



Рис. 51. Измерение кожно-жировой складки на бедре

На бедре – складка измеряется в положении обследуемого сидя на стуле, ноги согнуты в коленных суставах под прямым углом. Складка измеряется в верхней части правого бедра на переднелатеральной поверхности, параллельно ходу паховой складки, несколько ниже ее (рис. 51).

На голени – складка измеряется в том же исходном положении, что и на бедре. Она берется почти вертикально на заднелатеральной поверхности верхней части правой голени, на уровне нижнего угла подколенной ямки (рис. 52).

На тыльной поверхности кисти – складка измеряется на уровне головки 3-го пальца (рис. 53).

Схемы некоторых авторов предусматривают измерение кожно-жировых складок на щеке, подбородке, на подвздошном гребне (рис. 54) (косой и вертикальной), в области 7-го ребра (косой и вертикальной), над надколенником, на средней части бедра и других участках тела.

1.4.3.3. Методические рекомендации

1. Измерения толщины кожно-жировых складок проводят на правой стороне тела. Держа калипер в правой руке, захватить кожно-жировую складку большим и указательным пальцами левой руки, расстояние между которыми в зависимости от толщины складки может составлять от 4 до 8 см, и мягко, не вызывая болезненного ощущения у обследуемого, приподнять складку на высоту около 1 см. При обследовании тучных людей или больных ожирением начальное расстояние между пальцами для успешного отделения складки должно быть ещё больше.



Рис. 52. Измерение кожно-жировой складки на голени



Рис. 53. Измерение кожно-жировой складки на тыльной поверхности кисти



Рис. 54. Измерение кожно-жировой складки на подвздошном гребне

Расположить калипер перпендикулярно складке, при этом шкала измерений должна оказаться вверху. Поместить рабочие поверхности калипера на расстоянии 1 см от большого и указательного пальцев посередине между основанием и гребнем складки. Осторожно и полностью освободить давление дуг калипера на складку, затем в течение 3–4 с по показаниям шкалы определить её толщину, поддерживая складку в приподнятом положении.

2. Складку необходимо брать быстро, так как при длительном сжатии из-за нарушения баланса жидкости в приповерхностных участках тела она истончается.

3. Точность показаний калипера следует периодически проверять с использованием специального калибровочного блока.

4. Для формирования профессиональных навыков измерений толщины складок калипером следует провести не менее 50–100 пробных обследований, сравнивая результаты с полученными на тех же индивидах опытным специалистом.

5. Перед процедурой измерений пациенту не следует пользоваться жидкими косметическими средствами. Кожа в участках измерений должна быть сухой. Не рекомендуется проводить обследование сразу после интенсивной физической нагрузки или перегрева индивида.

6. Для мониторинга изменений толщины складок желательно использовать один и тот же калипер, а для оценки состава тела – одни и те же формулы.

7. Не рекомендуется использовать пластиковые калиперы при недостаточном опыте работы с ними.

8. Вариация регистрируемой толщины складок при повторных измерениях не должна превышать 10%. Опытный специалист, как правило, легко контролирует указанную погрешность в пределах 5%, однако в случае достаточно тонких или толстых складок (менее 5 мм или более 15 мм) воспроизводимость результатов измерений может снижаться.

1.5. Типовая карта антропометрического обследования

1. Фамилия, имя, отчество
2. Год, число и месяц рождения
3. Национальность отца матери
4. Спортивная специализация
5. Спортивное амплуа
6. Спортивное звание, разряд
7. Лучшие спортивные достижения (дата)
8. Спортивный результат на момент обследования
9. Стаж занятий данным видом спорта
10. Общий стаж занятий спортом
11. Период тренировки :
12. Дата обследования

№	Измеряемые признаки	Величина признака		Способ вычисления
		Справа	Слева ²	
Высота анатомических точек над полом, см				
1	Верхушечной (длина тела)			
2	Верхнегрудинной			
3	Акромиальной			
4	Лучевой			
5	Шиловидной			
6	Пальцевой			
7	Передней подвздошно-остистой			
8	Лобковой			
9	Верхнеберцовой внутренней			
10	Нижнеберцовой внутренней			
11	Вертельной			
Продольные размеры тела, см				
12	Длина верхнего отрезка			№1–№2
13	Длина корпуса			№1–№9

² Иногда в зависимости от целей и задач исследования измерения проводят как на правой, так и на левой стороне тела.

14	Длина туловища			№2–№8
15	Длина руки			№3–№6
16	Длина плеча			№3–№4
17	Длина предплечья			№4–№5
18	Длина кисти			№5–№6
19	Длина ноги			(№7+№8)/2
20	Длина бедра			№19–№9
21	Длин голени			№9–№10
22	Длина ноги от большого вертела ³			№11
Диаметры тела, мм				
23	Акромиальный (ширина плеч)			
24	Среднегрудинный поперечный			
25	Среднегрудинный сагиттальный			
26	Газогребневый			
27	Дистальной части плеча			
28	Дистальной части предплечья			
29	Дистальной части бедра			
30	Дистальной части голени			
31	Бидельтовидный			
32	Вертельный			
33	Наружнобедренный			
Обхватные размеры тела, см				
34	Головы			
35	Шеи			
	Грудной клетки:			
36	а) в спокойном состоянии			
37	б) на вдохе			
38	в) на выдохе			
39	г) экскурсия			
40	Живота (на уровне пупочной точки)			
41	Плеча (напряженного)			
42	Плеча (расслабленного)			

³ Некоторые антропологи в качестве показателя длины ноги берут высоту точки большого вертела. Эта величина не совпадает с принятым в России стандартным определением длины ноги (по В. Бунаку) как полусуммы высоты лобковой и передней подвздошно-остистой точек.

43	Предплечья			
44	Бедра (проксимально)			
45	Голени			
Кожно-жировые складки, мм				
46	На щеке			
47	На подбородке			
48	Под лопаткой			
49	На плече сзади			
50	На плече спереди			
51	На предплечье			
52	На груди			
53	X ребро, продольная			
54	X ребро, вертикальная			
55	На животе, продольная			
56	На животе, вертикальная			
57	Верхнеподвздошная, продольная			
58	Верхнеподвздошная, вертикальная боковая			
59	На бедре сидя			
60	На голени сидя			
61	На кисти			
62	Площадь поверхности тела, м ²			
63	Относительная площадь поверхности тела, см ² /г			
64	Масса тела, кг			
Состав массы тела				
65	Абсолютная масса жира, кг			
66	Содержание жира в массе тела, %			
67	Абсолютная масса подкожного жира, кг			
68	Содержание подкожного жира в массе тела, %			
69	Абсолютная масса мышечной ткани, кг			
70	Содержание мышечной ткани в массе тела, %			
71	Абсолютная масса обезжиренной ткани, кг			
72	Содержание обезжиренной ткани в массе тела, %			
73	Абсолютная масса костной ткани, кг			
74	Содержание костной ткани в массе тела, %			
75	Абсолютная масса внутреннего жира, кг			
76	Содержание внутреннего жира в массе тела, %			

Дополнительные показатели				
77	Удельный вес тела			

1.5.1. Обработка результатов измерений

Производные продольные размеры тела у спортсменов определяются как разность расстояний между определенными анатомическими точками, ориентированными в вертикальной плоскости. В типовой карте антропометрического обследования показано, как вычисляются длины сегментов тела на основе измеренных значений высоты анатомических точек. Так, длина головы с шеей (верхний отрезок) равна разности высоты верхушечной и верхнегрудинной точек (№1–№2). Длина корпуса равна разности высоты верхушечной и верхнеберцовой внутренней точек (№1–№9). Для оценки длины туловища необходимо посчитать разность №2–№8. Аналогично находятся расчетные значения продольных размерных признаков.

1.6. Оценка площади поверхности тела и его сегментов

Важной характеристикой физического развития индивидов является площадь поверхности тела. В биологии и медицине эта величина используется для стандартизации результатов измерений таких показателей, как основной обмен и индекс массы тела, а также для дозировки фармакологических воздействий. Для оценки площади поверхности тела обычно применяются формулы, основанные на измерении *длины и массы тела* (Kouno et al., 2003). Первая формула такого вида, полученная по результатам обследования 9 людей разного возраста и пола, была предложена в начале 20 века Д. и Е. Дюбуа (DuBois, DuBois, 1916). Она широко используется *для характеристики взрослых людей*:

$$S = 0,007184 \times H^{0,725} \times W^{0,425},$$

где S – площадь поверхности тела, выраженная в квадратных метрах (m^2), а H – длина (см) и W – масса тела (кг). В случае если длина тела H представлена в метрах, формула Дюбуа принимает вид

$$S = 0,20247 \times H^{0,725} \times W^{0,425}.$$

Также используются формулы других авторов. Наиболее пригодной для характеристики людей любого возраста считается формула Э. Бойд, полученная по данным 411 измерений (Boyd, 1930):

$$S = 0,0003207 \times H^{0,3} \times W^{(0,7285 - 0,0188 \lg W)},$$

где H – длина тела в сантиметрах, W – масса тела в граммах, а $\lg W$ – десятичный логарифм массы тела.

Удобна формула Р. Мостеллера (Mosteller, 1987), полученная на основе ретроспективного анализа данных ($n=401$):

$$S = (H \times W)^{1/2} / 60,$$

где H – длина тела (см), а W – масса тела (кг). Удобство формулы заключается в возможности получать оценку S , производя расчеты на обычном калькуляторе. Формула Мостеллера рекомендуется для людей любого возраста.

Простой вид имеет формула Б. Исакссона, которая рекомендуется для людей, длина и масса тела которых превышает в сумме 160 единиц (Isaksson, 1958):

$$S = [100 + W + (H - 160)] / 100,$$

где S – площадь поверхности тела (m^2), а W и H – масса (кг) и длина тела (см) соответственно. Надежные оценки площади поверхности тела с использованием формулы Исакссона получаются в диапазоне значений S от 0,8 до 2,2 m^2 . При $S < 0,8 m^2$ формула Исакссона неточна.

Для детей с массой тела от 3 до 30 кг была предложена упрощенная формула на основе измерения массы тела (Current, 1998):

$$S = 1321 + 0,3433 \times W,$$

где величина S выражена в квадратных сантиметрах, а W – масса тела в граммах. Формула выведена на основе данных, взятых из работы Э. Бойд (Boyd, 1930). Коэффициент корреляции оценок S по этой формуле с результатами прямых измерений составил 0,98.

По мнению многих исследователей, площадь поверхности тела целесообразно рассматривать как признак физического развития не в абсолютных, а в относительных единицах, приведенной к массе тела. Как правило, у лиц с низким физическим развитием на единицу массы приходится меньшая площадь поверхности тела (Бунак, 1940; Башкиров, 1958).

Для ориентировочной оценки площади поверхности сегментов тела используется метод Skerli (1956), в соответствии с которым

площадь поверхности головы и шеи определяется по формуле

$$2\pi(r^2 + 2h),$$

площадь поверхности туловища – как $2\pi r_1 h_1$,

площадь поверхности обоих плеч – как $2[\pi r_2 (r_2 + 2h_2)]$,

площадь поверхности обоих предплечий с кистями –

как $2[\pi r_3 (r_3 + 2h_3)]$,

площадь поверхности обоих бедер – как $2[\pi (r_4 + r_5) h_4]$,

площадь поверхности обеих голеней со стопами – как $2[\pi r_6 (r_6 + 2h_6)]$,

где r — полусумма радиусов головы и шеи, h — высота головы вместе с шеей; r_1 — радиус туловища — одна треть от суммы радиусов на уровне обхватов грудной клетки, талии и через ягодицы; h_1 — высота туловища (высота верхнегрудной минус высота лобковой точки); r_2 — радиус обхвата плеча; h_2 — длина плеча; r_3 — радиус обхвата предплечья; h_3 — длина предплечья вместе с кистью; r_4 — радиус обхвата бедра; r_5 — радиус обхвата колена; h_4 — длина бедра; r_6 — радиус обхвата голени, h_6 — длина голени.

Радиусы рассчитываются по формуле $r = O/2\pi$,

где O — величина обхвата (периметр) соответствующей части тела.

Измерения выполняются с точностью до 1 мм. Площади поверхности сегментов тела определяются с точностью до 0,1 дм².

В 1964 г. Л.К. Щекочихина на основании анализа парных и множественных корреляций, рассчитанных по данным антропометрического обследования большой группы мужчин и женщин в возрасте от 30 до 35 лет, установила зависимости площадей поверхности отдельных сегментов тела от тотальных размеров тела. Формулы имеют следующий вид:

1) площадь поверхности головы с шеей (S_1):

$$S_1 = 0,050 \times H + 0,074 \times W + 3,41 \pm 0,71 \text{ ♂},$$

$$S_1 = 0,042 \times H + 0,083 \times W + 3,01 \pm 0,81 \text{ ♀},$$

2) площадь поверхности туловища (S_2):

$$S_2 = 0,215 \times H + 0,270 \times W - 8,25 \pm 1,49 \text{ ♂},$$

$$S_2 = 0,142 \times H + 0,266 \times W + 3,94 \pm 2,03 \text{ ♀},$$

3) площадь поверхности одной руки (S_3):

$$S_3 = 0,046 \times H + 0,190 \times W + 2,56 \pm 0,89 \text{ ♂},$$

$$S_3 = 0,068 \times H + 0,161 \times W - 0,62 \pm 0,82 \text{ ♀},$$

4) площадь поверхности одной ноги (S_4):

$$S_4 = 0,156 \times H + 0,276 \times W - 9,53 \pm 1,25 \text{ ♂},$$

$$S_4 = 0,231 \times H + 0,238 \times W - 17,32 \pm 1,3 \text{ ♀},$$

где H — длина тела (см), W — масса тела (кг).

Таблица 1. Нормальные значения площади поверхности отдельных частей тела для мужчин и женщин

Признак	Значение признака, дм ²	
	Мужчины	Женщины
Площадь поверхности головы и шеи	16,0–17,2	13,8–15,1
Площадь поверхности туловища	43,3–47,2	39,3–44,3
Площадь поверхности руки	21,5–23,6	18,4–20,6
Площадь поверхности ноги	32,5–36,2	30,8–34,5

Наряду с указанными формулами были охарактеризованы нормальные значения площадей поверхности отдельных сегментов тела для мужчин и женщин (табл. 1).

1.7. Оценка удельного веса тела

В исследовательской практике применяются различные методы оценки удельного веса тела человека. Определение данного показателя особенно актуально в тех видах спорта, где имеют значение плавучесть тела и его гидродинамические характеристики. Золотым стандартом для оценки удельного веса тела человека считается метод гидростатического, или подводного, взвешивания, также иногда называемый гидростатической денситометрией. Метод был предложен в середине 20 века американским врачом и физиологом Альбертом Бенке. Иногда вместо гидростатического взвешивания применяется метод волюминометрии. Оба метода чаще применяются в стационарных условиях для обследования здоровых взрослых людей. Как правило, для измерений используется громоздкое и дорогостоящее оборудование, требующее постоянного профилактического ухода. Процедура измерений продолжительная и занимает до одного часа. В связи с необходимостью полного погружения в воду для получения максимально точных оценок плотности тела применение метода ограничено у детей, пожилых людей и больных некоторыми заболеваниями, включая инфекционные.

Наряду с методами погружения для оценки удельного веса тела у людей разного пола и возраста пользуются приближенными формулами, основанными на результатах антропометрических измерений, которые можно применять в полевых и лабораторных условиях.

Brozek и Keys (1951) предложили следующие формулы:

для мужчин 20–25 лет:

$$d = 1,1017 - 0,000282 x_1 - 0,000736 x_2 - 0,000883 x_4;$$

для мужчин 40–45 лет:

$$d = 1,0967 - 0,000393 x_2 - 0,000315 x_3 - 0,000598 x_4 - 0,000170 x_6,$$

где d – удельный вес тела (г/мл), x_1 – жировая складка на животе, x_2 – жировая складка на груди, x_3 – жировая складка под лопаткой, x_4 – жировая складка на плече, x_5 – относительная масса тела = $100 A/S$ (A – масса тела, S – стандартная масса тела для данного пола, возраста и роста).

Sloan и Weir (1970) предложили формулу, которая позволяет определять удельный вес тела по данным измерения толщины двух складок калипером Беста (Best, 1954):

для мужчин 18–26 лет:

$$d = 1,1043 - 0,00133 x_1 - 0,00131 x_2,$$

где d – плотность, или удельный вес, тела (г/мл), x_1 – складка на передней поверхности бедра на середине отрезка между паховой связкой и верхушкой надколенника (мм); x_2 – складка под лопаткой (мм);

для женщин 17–25 лет:

$$d = 1,0764 - 0,00081 x_1 - 0,00088 x_2,$$

где d – удельный вес тела (г/мл), x_1 – складка над подвздошным гребнем, измеряемая латерально и на уровне средней линии подмышечной впадины (мм); x_2 – вертикальная складка на середине задней поверхности плеча между акромиальным и локтевым отростками (мм), плечо спокойно свисает. Cowgill (1955) предложил следующую формулу для определения удельного веса (плотности) тела у мужчин:

$$d = 0,22 (H^{0,725}/W^{0,3}) + 0,75;$$

где H – длина тела (см), а W – масса тела (г). Иногда используется несколько упрощенный вид этой формулы в логарифмической форме:

$$\log d = 0,848 (0,242 \log H - 0,1 \log W) - 0,0172.$$

Brozek и Keys предложили следующие формулы для оценки плотности тела:

$$d = 1,1034 - 0,002313 x_1;$$

$$d = 1,1012 - 0,001770 x_4;$$

$$d = 1,1017 - 0,000282 x_2 - 0,000736 x_3 - 0,000883 x_1,$$

где x_1 – жировая складка на задней поверхности плеча, x_2 – жировая складка на животе, x_3 – жировая складка на груди, x_4 – жировая складка под лопаткой.

В 1969 году Н.Ю. Лутовинова, М.И. Уткина и В.П. Чтецов разработали формулы для оценки удельного веса тела у спортсменов-борцов 18-30 лет на основе различных сочетаний антропометрических признаков. Формулы имеют следующий вид:

$$d = 1,076721 + 0,000180 x_2 - 0,000833 x_3;$$

$$d = 1,079632 - 0,001034 x_2 - 0,000196 x_4;$$

$$d = 1,128953 - 0,000378 x_1 - 0,001121 x_8;$$

$$d = 1,111994 - 0,000763 x_6 - 0,000753 x_8;$$

$$d = 1,221357 - 0,000956 x_7 + 0,000361 x_9 - 0,001765 x_6;$$

$$d = 1,237170 - 0,000989 x_7 + 0,000506 x_9 - 0,000223 x_8 - 0,001744 x_6;$$

$$d = 1,002100 + 0,000700 x_7 - 0,001000 x_9;$$

$$d = 1,069050 - 0,000412 x_2 - 0,001449 x_1 + 0,006752 x_6 - 0,001440 x_3 - 0,0001298 x_4;$$

$$d = 1,066894 + 0,000083 x_2 - 0,001225 x_1 + 0,004601 x_5 - 0,001717 x_3;$$

$$d = 1,074129 - 0,000836 x_2 - 0,001486 x_1 + 0,002237 x_5;$$

$$d = 1,075738 - 0,000217 x_2 - 0,000936 x_1,$$

где x_1 – жировая складка на животе, x_2 – под лопаткой, x_3 – на бедре в паховой области, x_4 – на задней поверхности голени в положении сидя, x_5 – средняя величина двух складок на плече, x_6 – суммарная толщина жировых складок, x_7 – длина тела, x_8 – периметр грудной клетки, x_9 – масса тела.

Для определения удельного веса тела у детей 9–16 лет Parizkova и Roth (1972) предложили ряд формул:

для мальчиков 9–12 лет:

$$y = 1,180 - 0,069 \log x_{\Sigma 10} \text{ складок}; r_{\Sigma 10} \text{ складок} = - 0,8959;$$

для мальчиков 13–16 лет:

$$y = 1,205 - 0,078 \log x_{\Sigma 10}; r_{\Sigma 10} \text{ складок} = - 0,9160;$$

для девочек 9–12 лет:

$$y = 1,160 - 0,061 \log x_{\Sigma 10}; r_{\Sigma 10} \text{ складок} = - 0,812;$$

для девочек 13–16 лет:

$$y = 1,205 - 0,078 \log x_{\Sigma 10}; r_{\Sigma 10} \text{ складок} = - 0,8394.$$

Удельный вес тела у детей можно также оценить по данным о толщине двух складок: на задней поверхности плеча (x_1) и под лопаткой (x_2):

для мальчиков 9–12 лет:

$$y = 1,108 - 0,027 \log x_1 - 0,045 \log x_2; r = - 0,8854;$$

для мальчиков 13–16 лет:

$$y = 1,130 - 0,055 \log x_1 - 0,026 \log x_2; r = - 0,9499;$$

для девочек 9–12 лет:

$$y = 1,088 - 0,014 \log x_1 - 0,036 \log x_2; r = - 0,8075;$$

для девочек 13–16 лет:

$$y = 1,114 - 0,031 \log x_1 - 0,041 \log x_2; r = - 0,8245.$$

Если удельный вес тела определяется методом гидростатической денситометрии, то

$$d = \text{ОВТ} / (\text{ОВТ} - \text{ВТВ} - \text{ООЛ}),$$

где ОВТ – обычный вес тела, ВТВ – вес тела в воде, а ООЛ – остаточный объем воздуха в легких.

Остаточный объем воздуха в легких составляет в норме около 1.45 л. Если удельный вес тела превышает 1.1, то К.П. Ханина (1962) рекомендовала в расчетах принимать ООЛ равным 1,2 или 1 л. При динамических наблюдениях за одним и тем же контингентом обследуемых при характеристике удельного веса тела необходимо использовать постоянное значение ООЛ.

1.8. Вопросы для самоконтроля

1. Какие антропологические методы исследования Вы знаете? В чем состоит отличие антропометрии от антропоскопии?

2. Назовите основные соматические показатели, изучаемые в спорте, спортивной медицине и фитнесе. Каково их прикладное значение? Раскройте их содержание.
3. Перечислите анатомические точки на теле человека, определяемые при измерениях антропометром.
4. Перечислите основные цели и задачи антропометрических обследований спортсменов.
5. Какое оборудование используется для измерения продольных, поперечных и обхватных размеров тела человека?
6. Назовите основные требования, предъявляемые к организации антропометрических измерений.
7. Перечислите основные ошибки, возникающие в ходе антропометрических измерений.
8. Перечислите основные диаметры, измеряемые при антропометрических обследованиях спортсменов, и необходимое оборудование.
9. Какие обхватные размеры тела измеряют при антропометрических обследованиях, и какой инструментарий используют в этих целях?
10. В чем заключаются методические особенности измерения обхватных размеров тела и возможные ошибки измерений?
11. Какое оборудование применяется для измерения кожно-жировых складок? Перечислите основные ошибки, допускаемые при измерении кожно-жировых складок.
12. Перечислите методические требования, которых необходимо придерживаться при измерении кожно-жировых складок.
13. Какие показатели необходимо включать в протокол обследования лиц занимающихся спортом, фитнесом, и лиц, не занимающихся спортом?
14. Как определяется площадь поверхности тела человека? Какую информацию несет в себе данный показатель? Приведите формулы для оценки площади поверхности тела у индивидов разного возраста.
15. Что такое удельный вес тела человека? Какое значение данный показатель имеет для представителей разных видов спорта?
16. Перечислите способы оценки удельного веса тела человека.

2. Антропометрия и состав тела

2.1. Методы оценки избыточности и дефицита массы тела

Для косвенной оценки избыточности и дефицита массы тела индивидов применяются таблицы значений различных антропометрических признаков, таких как масса и длина тела, а также периметр грудной клетки. Военные ведомства и страховые компании для оценки физического развития и состояния здоровья используют росто-весовые индексы и таблицы, в которых определённым значениям длины тела соответствуют различные диапазоны значений массы тела, интерпретируемые по степени отклонения массы тела от нормы. Широко распространены росто-весовые стандарты страховой компании *Metropolitan* (США). Они были разработаны в 1953 и 1983 гг. на основе анализа демографических данных по смертности в общей популяции. Росто-весовые таблицы не дают информации о составе тела на индивидуальном уровне. Поэтому их применение оправдано лишь для ориентировочной оценки физического развития и состояния здоровья.

Таблица 2. Классификация массы тела индивидов возраста 25-59 лет, предложенная на основе изучения относительной смертности (*Metropolitan Life Insurance Co*, 1983)

Длина тела, см	Пределы изменения массы тела, кг		
	Низкая	Средняя	Высокая
Мужчины			
157,5	58,11–60,84	59,47–64,01	62,65–68,10
160,0	59,02–61,74	60,38–64,92	63,56–69,46
162,6	59,93–62,65	61,29–65,83	64,47–70,82
165,1	60,84–63,56	62,20–67,19	65,38–72,64
167,6	61,74–64,47	63,11–68,55	66,28–74,46
170,2	62,65–65,83	64,47–69,92	67,65–71,73
172,7	63,56–67,19	65,83–71,28	69,01–78,09
175,3	64,47–68,55	67,19–72,64	70,37–79,90
177,8	65,38–69,92	68,55–74,00	71,73–81,72
180,3	66,28–71,28	69,92–75,36	73,09–83,54
182,9	67,65–72,64	71,28–77,18	74,46–85,35
185,4	69,01–74,46	72,64–79,00	76,27–87,17
188,0	70,37–76,27	74,46–80,81	78,09–89,44
190,5	71,73–78,09	75,82–82,63	79,90–91,71
193,4	73,55–79,90	77,63–84,90	82,17–93,98
Женщины			
147,3	46,31–50,39	49,49–54,93	53,57–59,47

149,9	46,76–51,30	50,39–55,84	54,48–60,84
152,4	47,22–52,21	51,30–57,20	55,39–62,20
154,9	48,12–53,57	52,21–58,57	56,75–63,56
157,5	49,03–54,93	53,57–59,93	58,11–64,92
160,0	50,39–56,30	54,93–61,29	59,47–66,74
162,6	51,76–57,66	56,30–62,65	60,84–68,55
165,1	53,12–59,02	57,66–64,01	62,20–70,37
167,6	54,48–60,38	59,02–65,38	63,56–72,19
170,2	55,84–61,74	60,38–66,74	64,92–74,00
172,7	57,20–63,11	61,74–68,10	66,28–75,82
175,3	58,57–64,47	63,11–69,46	67,65–77,18
177,8	59,93–65,83	64,47–70,82	69,01–78,54
180,3	61,29–67,19	65,83–72,19	70,37–79,90
182,9	62,65–68,55	67,19–73,55	71,73–81,27

Таблица 3. Нормальные значения ИМТ с учётом возраста и пола

Возрастная группа	Нормальные значения ИМТ
19–24	< 20
25–34	20–25
35–44	21–26
45–54	22–27
55–64	23–28
> 65	24–29

Таблица 4. Классификация значений ИМТ, предложенная ВОЗ, и риск сопутствующих заболеваний

ИМТ, кг/м ²	Классификация	Риск сопутствующих заболеваний
Менее 18,5	Дефицит массы тела	Низкий (при этом повышается вероятность других клинических осложнений)
18,5–24,9	Нормальная масса тела	Средний
25,0–29,9	Избыточная масса тела	Умеренно повышенный
30,0–34,9	Ожирение I степени	Значительно повышенный
35,0–39,9	Ожирение II степени	Сильно повышенный
Свыше 40	Ожирение III степени	Резко повышенный

Косвенное представление об избыточности или дефиците массы тела дают *индексы массы тела*. Ранее пользовались популярностью индексы Брока, Пинье, Кетле, Ливи, Рорера (Башкиров, 1962). В настоящее время наибольшее распространение имеет индекс Кетле, иногда называемый также индексом Кетле-Гульда-Каупа, или просто индексом массы тела (ИМТ):

$$\text{Индекс Кетле} = \text{Масса тела} / (\text{Длина тела})^2,$$

где масса тела выражена в килограммах, а длина тела – в метрах. В табл. 3 и 4 показаны ориентировочные границы нормальных значений индекса Кетле у взрослых людей белой расы в зависимости от возраста и пола.

В связи с увеличением в большинстве стран частоты встречаемости избыточной массы тела и ожирения индекс Кетле имеет важное значение для скрининговых исследований и выработки рекомендаций в области здорового питания и снижения веса (Бессесен, Кушнер, 2004). В табл. 4 приводится характеристика интервалов значений ИМТ с указанием риска сопутствующих заболеваний, предложенная ВОЗ.

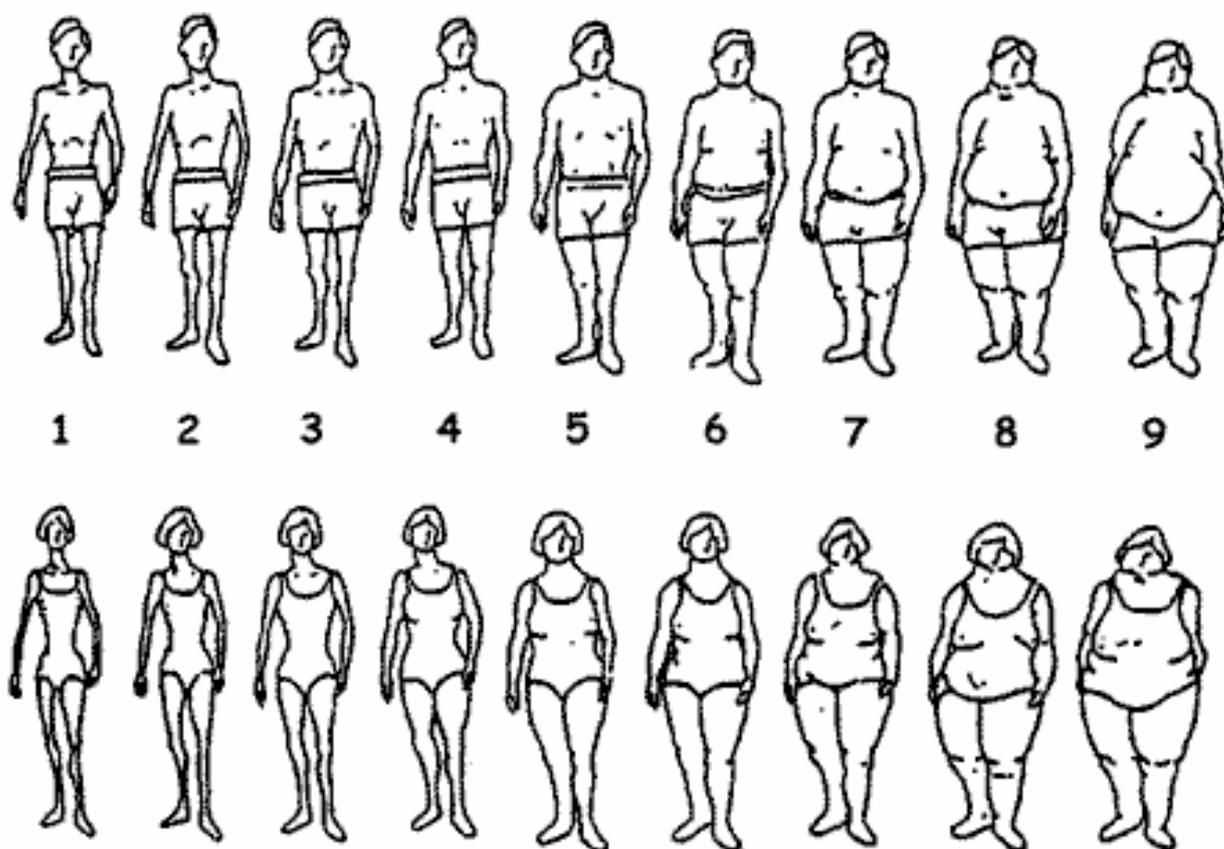


Рис. 55. Зрительная оценка ИМТ по Булику

Таблица 5. Соответствие между вариантами очертаний тела на рис. 55 и величиной ИМТ (Bulik, 2001)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мужчины	19,8	21,1	22,2	23,6	25,8	28,1	31,5	35,2	41,5
Женщины	18,3	19,3	20,9	23,1	26,2	29,9	34,3	38,6	45,4

Удобный способ зрительной оценки величины индекса массы тела предложен в работе (Bulik et al., 2001). На основе обработки большого массива данных измерений различным значениям индекса массы тела у мужчин и женщин был поставлен в соответствие набор вариантов очертаний тела (т.е. фигуры), показанный на рис. 55. Из табл. 5 следует, что нормальный диапазон значений ИМТ соответствует типам фигуры 1–6 для мужчин и 1–5 для женщин. Ожирению у мужчин соответствует тип фигуры 7 и выше, а у женщин – 6 и выше.

Информативность индекса Кетле и других антропометрических индексов для изучения состава тела была исследована на больших выборках здоровых взрослых людей в общей популяции. Так, в работе (Smalley et al., 1990) у 213 женщин и 150 мужчин разного возраста определяли процентное содержание жира в организме методом гидростатической денситометрии и сопоставляли полученные результаты со значениями нескольких антропометрических индексов. Результаты гидростатической денситометрии высоко коррелировали с каждым из рассмотренных индексов (коэффициент корреляции 0,60–0,82), однако одновременное использование разных индексов для диагностики избыточной массы тела и ожирения часто приводило к противоречивым результатам, поэтому применять их следует с осторожностью.

У взрослых пациентов с установленным диагнозом "ожирение" величина индекса Кетле согласуется с другими антропометрическими индексами лучше, чем в общей популяции. Среди таких индексов важное значение имеет *окружность талии*, которая хорошо коррелирует с величиной ИМТ, а также *с отношением окружности талии к окружности бедер*.

Недавно было высказано предположение, что величину окружности талии можно использовать для надёжного выявления лиц с увеличенным риском сердечнососудистых заболеваний. Так, было установлено, что критерий превышения окружности талии свыше 94 см у мужчин и свыше 80 см у женщин надёжно классифицирует лиц с ИМТ более 25 кг/м² и соотношением окружности талии к окружности бёдер свыше 0,95 и 0,80 у мужчин и женщин соот-

ветственно. Статистический анализ антропометрических данных больных ожирением взрослых людей ($n = 951$), включающий наряду с индексом Кетле пять других часто используемых индексов ожирения, показал их высокую взаимную корреляцию – в среднем 0,96 (Colliver et al., 1983). Факторный анализ индексов выявил наличие одного фактора, описывающего 97% совокупной дисперсии. Факторный анализ индексов вместе с величинами длины и массы тела привёл к выделению двух факторов, при этом величины индексов влияли исключительно на первый фактор, а длина тела обследуемых – на второй фактор. Эти результаты свидетельствуют, что *при обследовании взрослых людей больных ожирением не следует проявлять особой избирательности в том, какой из индексов лучше использовать.*

Показано, что процентное содержание жира в организме характеризуется нелинейной зависимостью от индекса массы тела. При этом одним и тем же значениям %ЖМТ у разных индивидов (в зависимости от пола, возраста и этнической принадлежности) могут соответствовать разные значения ИМТ. Например, при одинаковых значениях %ЖМТ величина ИМТ у американских негров в среднем на 1,3 единицы меньше, а у народов Полинезии – на 4,5 единицы больше по сравнению с представителями белой расы (Deurenberg et al., 1998).

Одна из формул для оценки %ЖМТ у взрослых индивидов, полученная на основе 4-компонентной модели состава тела, имеет следующий вид (Gallagher et al., 2000):

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = & 64,5 - 848/ИМТ + 0,079 \times \text{Возраст} - 16,4 \times \text{Пол} \\ & + 0,05 \times \text{Пол} \times \text{Возраст} + 39,0 \times \text{Пол}/ИМТ, \end{aligned}$$

где величина Пол принимает значения 0 и 1 для женщин и мужчин соответственно, а возраст измеряется в годах. Среднеквадратическая погрешность оценки %ЖМТ с использованием этой формулы составила 5% жировой массы, а коэффициент множественной регрессии R был равен 0,86.

Важен вопрос об эффективности применения индекса Кетле для диагностики ожирения у детей и подростков. Данные для различных популяций показывают, что клинически выраженное ожирение могут иметь до 10% детей, при этом большинство детей с избыточной массой тела сохраняют её и в последующей жизни. Подростки, у которых ИМТ выше границ нормы, имеют высокий риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и рака толстой кишки. Имеются данные о повышенной смертности среди подростков не только с ожирением, но и с избыточной массой тела.

Представляет интерес изучение информативности индекса Кетле для оценки количества жировой ткани у детей. Было показано, что коэффициент корреляции индекса Кетле и жировой массы тела, оцененной различными методами, варьирует от 0,39 до 0,90 в зависимости от метода, а также пола и возраста (Deurenberg et al., 1991; Dietz, Robinson, 1998). Вместе с тем, ИМТ даёт согласованные оценки жировой массы в пределах возрастных групп и, следовательно, является значимой характеристикой при диагностике ожирения у детей. Показано, что пороговые значения индекса Кетле для диагностики избыточной массы тела и ожирения у подростков соответствуют нормативам, установленным ВОЗ для взрослых людей (табл. 4) (Dietz, Bellizzi, 1999).

О низкой информативности индекса Кетле на спортивном контингенте обращали внимание многие исследователи. У спортсменов масса тела может значительно превышать нормативные значения для общей популяции, но их нельзя считать тучными, так как масса тела спортсменов в большей степени представлена мышечной массой и массивным скелетом, а не жировой тканью. Однако в настоящее время неясно, насколько безопасно иметь избыточную мышечную массу. Понятно, что по аналогии с избыточной массой жира она предъявляет повышенные требования ко всем системам организма, и в первую очередь к сердечно-сосудистой системе. Исследования спортсменов различного пола, возраста, спортивной специализации и квалификации подтверждают гипотезу о том, что избыточная мышечная масса тела в ряде слу-

чаев служит лимитирующим фактором физической работоспособности в процессе адаптации к условиям гипоксии и длительной аэробной работы (Мартиросов, 1998).

Среди болезней, связанных с избыточной массой тела, называют атеросклероз, ишемическую болезнь сердца, гипертоническую болезнь, сахарный диабет, холецистит и желчно-каменную болезнь, подагру, остеохондроз, обменно-дистрофический полиартрит, злокачественные опухоли и бесплодие (Feigin et al., 1998; Calle et al., 1999).

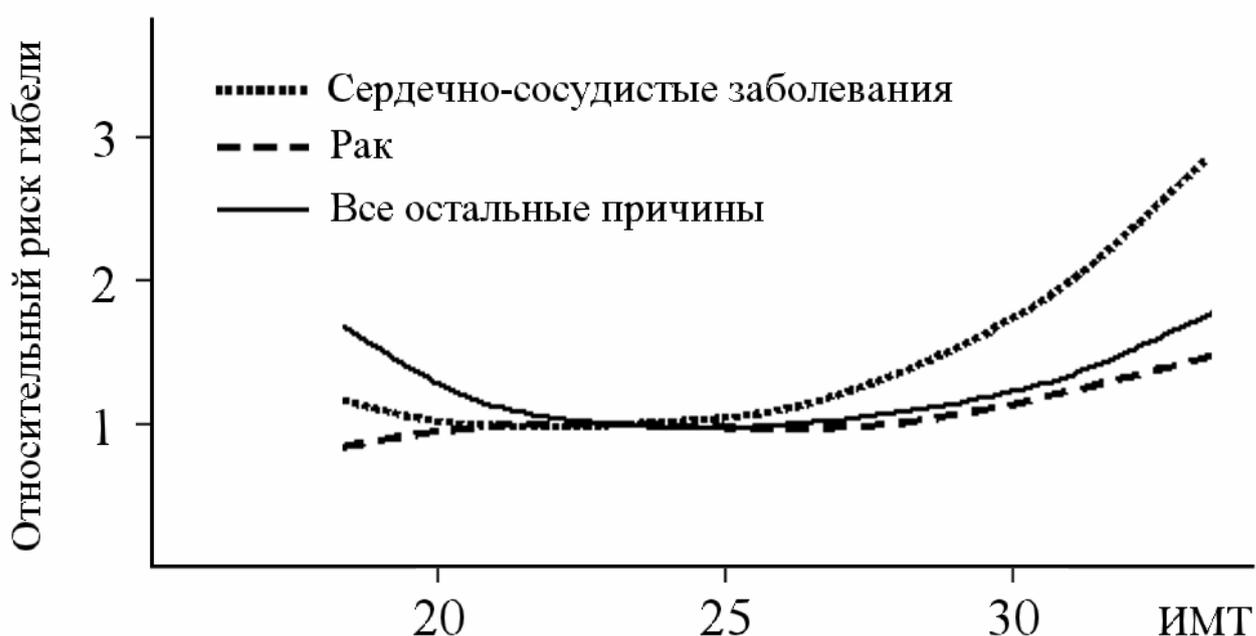


Рис. 56. Принципиальный вид функций относительного риска гибели от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и других причин в зависимости от индекса массы тела [по данным (Calle et al., 1999)]

В США проводился долговременный мониторинг популяции численностью свыше 1 млн. человек для изучения влияния различных факторов риска на продолжительность жизни и смертность (Calle et al., 1999). Наиболее низкие показатели смертности наблюдались при значениях ИМТ в пределах от 20,5 до 24,9 независимо от пола и возраста. Повышенные значения ИМТ были связаны со значительным увеличением смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и рака, а пониженные значения – с увеличением

смертности от пневмонии, заболеваний сосудов головного мозга и болезней ЦНС (рис. 56).

Таким образом, основная сфера применения роста-весовых таблиц и индексов массы тела связана с косвенной оценкой уровня физического развития, пищевого статуса и предварительной диагностикой ожирения. Преимущество индексов заключается в простоте применения и возможности их использования в масштабных популяционных исследованиях. Недостаток индексов связан с трудностями их интерпретации на индивидуальном уровне, в том числе у пациентов с различными заболеваниями.

2.2. Состав тела человека

Сегодня область изучения состава тела человека охватывает широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем биологии и медицины. Неполный их перечень включает оценку физического развития на индивидуальном и популяционном уровне, диагностику некоторых заболеваний и оценку эффективности их лечения, исследование закономерностей возрастных изменений состава тела, изучение процессов адаптации организма к внешней среде и профессиональный отбор. Состав тела определяют в диетологии, анестезиологии, при мониторинге баланса жидкости в реаниматологии и интенсивной терапии, при лечении пациентов с анорексией, ожирением, отёками (Иванов и др., 1999). Большое значение имеет изучение состава тела для профилактики, диагностики и оценки эффективности лечения остеопороза (Ригз, Мелтон, 2000). В зависимости от области науки (физиология труда и спорта, спортивная медицина, эндокринология, педиатрия, геронтология, онкология и др.) меняется перечень показателей состава тела, которые необходимо изучать.

Определение состава тела имеет значение в спорте, медицине и фитнесе. Данные о составе тела используются тренерами и спортивными врачами для оптимизации тренировочного режима в процессе подготовки к соревнованиям. Наши многолетние исследования сильнейших спортсменов Советского Союза и России (Мартиросов, Туманян, 1974; Мартиросов, Кочеткова,

1986; Абрамова, Мартиросов, 1988, 1991; Мартиросов, 1998) позволили установить оптимальные значения жировой и мышечной массы тела у спортсменов на разных этапах годового цикла подготовки.

2.2.1. Варианты динамики состава тела у спортсменов

На рис. 57 представлены различные варианты динамики соотношения мышечной и жировой массы тела у спортсменов на различных этапах годового цикла подготовки.⁴ Как следует из рис. 57а, при *положительной динамике* мышечная масса постепенно возрастает от начала подготовительного к началу соревновательного периода и должна удерживаться на этом уровне до конца соревновательного периода. Этот уровень в зависимости от спортивных специализаций варьирует, но не должен быть ниже 52–54% массы тела. При этом жировая масса тела снижается от начала подготовительного периода к началу соревновательного, но не должна быть ниже 6%.

Снижение жировой массы ниже 6% при одновременном уменьшении мышечной массы в соревновательном периоде свидетельствует о состоянии острого физического перенапряжения (рис. 57в).

Отрицательная динамика (рис. 57б) – когда в подготовительном периоде резко наращивается мышечная масса, а затем начинает падать к концу подготовительного периода и далее. При этом жировая масса сначала снижается, а затем от начала соревновательного периода растет вплоть до конца соревновательного периода.

Различные соотношения показателей состава тела непосредственно связаны с состоянием физической работоспособности спортсменов (Мартиросов, 1968), но коррелируют с биохимическими и функциональными показателями организма, широко используемыми в спорте. Не случайно уже более 30 лет в России и за рубежом показатели состава тела применяются для оценки текущего функционального состояния спортсменов.

⁴Периоды годового цикла подготовки: НП – начало подготовительного; СП – середина подготовительного периода; КП – конец подготовительного периода; НС – начало соревновательного периода; КС – конец соревновательного периода.

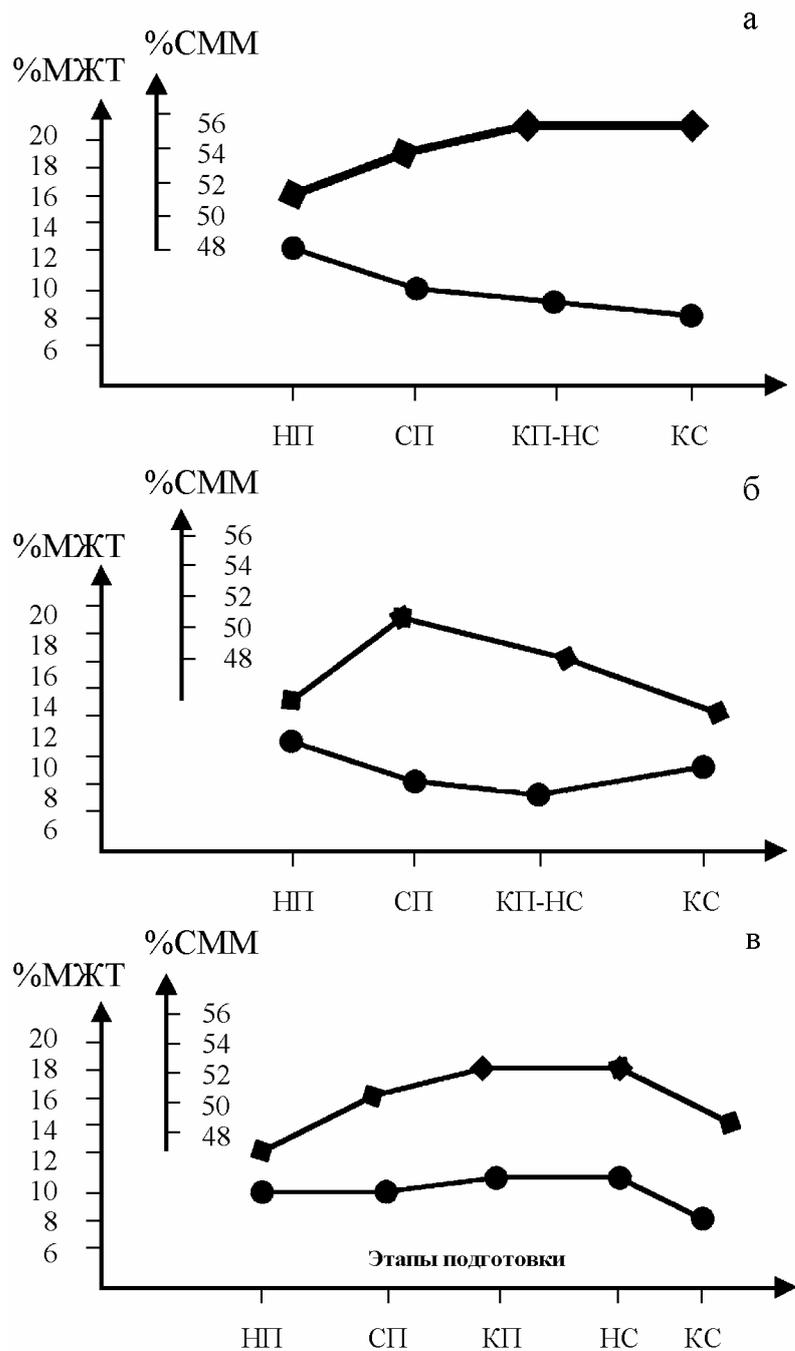


Рис. 57. Варианты динамики изменений состава тела у спортсменов в тренировочном цикле: а) положительная динамика б) отрицательная динамика, в) острое перенапряжение. Условные обозначения: %МЖТ, %СММ – процентное содержание жировой и скелетно-мышечной ткани в массе тела; НП, СП, КП – начало, середина и конец подготовительного этапа; НС, КС – начало и конец соревнований, соответственно

В полевых условиях преимущество имеют *антропометрические* методы и *биоимпедансный* анализ. Как свидетельствуют отечественные и западные исследования (Башкиров и соавт., 1968; Tanner, 1968; Tittel, Wutscherk, 1972;

Heyward, Stolarczyk, 1996; Мартиросов, 1998), единых стандартов состава тела у спортсменов не существует, они варьируют в зависимости от вида спорта, конкретной специализации и уровня подготовки спортсменов. Однако известно, что снижение доли жировой массы до 5–6%, а скелетно-мышечной массы в соревновательном периоде до 46%, нежелательно и чаще свидетельствует о переутомлении атлетов (Мартиросов и др., 1984, Мартиросов и соавт., 2006).

2.2.2. Модели состава тела

Под *моделью состава тела* понимается совокупность количественных данных и предположений, а также соответствующие математические формулы, позволяющие определить содержание компонент состава тела, образующих в сумме всё тело. Традиционно используются 2-, 3- и 4-компонентные модели, а также 5-уровневая многокомпонентная и другие модели состава тела (Behnke, 1942; Siri, 1956, 1961; Brozek et al., 1963; Lohman, 1986; Wang et al., 1992) (см. рис. 3).

В 2-компонентной модели масса тела человека (МТ) рассматривается как сумма двух составляющих: жировой массы тела (ЖМТ) и безжировой массы тела (БМТ)⁵:

$$\text{МТ} = \text{ЖМТ} + \text{БМТ}.$$

Под *жировой массой тела* понимается масса всех липидов в организме. Жировая масса тела представляет собой наиболее лабильную компоненту состава тела, её содержание может меняться в широких пределах. Различают *существенный жир*, входящий в состав белково-липидного комплекса большинства клеток организма (например, фосфолипиды клеточных мембран), и *несущественный жир* (триглицериды) в жировых тканях.

Существенный жир необходим для нормального метаболизма органов и тканей. У мужчин относительное содержание существенного жира ниже,

⁵В качестве синонимов термина *безжировая масса тела* используются понятия *обезжиренная масса* и *масса тела, свободного от жира*.

чем у женщин. Считается, что относительное содержание существенного жира в организме весьма стабильно и составляет для разных людей от 2 до 5% безжировой массы тела. Однако имеющиеся немногочисленные оценки противоречивы [(Behnke et al., 1942, 1963; Keys, Brozek, 1953), см. также (Clarys et al., 1999; Fidanza, 2003)].

Несущественный жир образует основной запас метаболической энергии и выполняет функцию термоизоляции внутренних органов. Содержание несущественного жира увеличивается при избыточном и снижается при недостаточном питании. Так, например, 15 кг несущественного жира обеспечивают двухмесячную потребность организма в энергии при её расходе 2000 ккал в сутки. Открытие в 1993 году гена ожирения и молекулярного фактора лептина, продуцируемого адипоцитами (основной тип клеток жировой ткани) и участвующего в регуляции энергетического гомеостаза, положило начало активному изучению жировой ткани как метаболически активного органа. Сегодня известно более десяти молекулярных факторов, секретируемых жировой тканью и регулирующих функции эндокринной и иммунной системы. К ним относятся лептин, IL-6, фактор некроза опухолей и другие (Fruhbeck et al., 2001).

Количество жировых тканей в организме может значительно отличаться у разных индивидов и, кроме того, испытывает колебания на индивидуальном уровне в течение жизни. Это может быть связано как с нормальными физиологическими изменениями в процессе роста и развития организма, так и с нарушениями метаболизма. Среднее процентное содержание жировых тканей в организме взрослых людей для различных популяций обычно составляет от 10% до 20–30% массы тела. Нижняя граница указанного диапазона характерна для населения африканских и азиатских стран с низким уровнем жизни, а верхняя – для населения промышленно развитых стран (Valentin, 2002).

Несущественный жир состоит из подкожного и внутреннего жира. *Подкожный жир* распределён относительно равномерно вдоль поверхности

тела. *Внутренний (висцеральный) жир* сосредоточен, главным образом, в брюшной полости. Установлено, что риск развития сердечно-сосудистых и других заболеваний, связанных с избыточной массой тела, имеет более высокую корреляцию с содержанием внутреннего, а не подкожного, жира. Иногда используется понятие *абдоминального жира*, под которым понимается совокупность внутреннего и подкожного жира, локализованных в области живота.

Рассмотренная двухкомпонентная модель соответствует *молекулярному* уровню строения тела. Физиологическая интерпретация получаемых результатов в этом случае затруднена ввиду неоднородности состава липидов и безжировой массы. С учётом этого Альберт Бенке ввёл понятие *тощей массы тела* (lean body mass), равной сумме безжировой массы тела и массы существенного жира, и предложил рассматривать следующую двухкомпонентную модель состава тела (Behnke et al., 1942):

$$MT = MNЖ + TMT,$$

где МНЖ – масса несущественного жира в организме, а ТМТ – тощая масса тела. Ввиду неопределённости, связанной с оценкой содержания существенного жира, понятие тощей массы оказалось мало пригодным для изучения состава тела и в последствии нередко ошибочно использовалось в качестве синонима безжировой массы (fat-free mass). Для устранения возникшей путаницы в определениях в 1981 году на совместном заседании объединённой экспертной комиссии ВОЗ, ООН и Организации по вопросам питания и сельского хозяйства с участием известных специалистов по изучению состава тела было решено использовать понятие "тощая масса тела" в качестве эквивалента термина "безжировая масса тела" для обозначения массы тела без жира (Fidanza, 2003).

Двухкомпонентную модель состава тела можно использовать для характеристики групповых средних значений. Ввиду значительной вариации состава и плотности безжировой массы тела (БМТ) она мало пригодна для

мониторинга изменений состава тела на индивидуальном уровне за исключением случаев предварительной диагностики и оценки эффективности лечения выраженного истощения или ожирения (Roche et al., 1996).

В целях повышения точности оценки состава тела были предложены 3- и 4-компонентные модели (рис. 3), основанные на дополнительных измерениях одной или двух составляющих БМТ, соответственно. Использование 3-компонентных моделей для характеристики популяций здоровых взрослых людей и подростков позволяет несколько улучшить точность оценки %ЖМТ.

У пациентов с нарушенным балансом жидкости в организме или изменённой минеральной массой тела 3-компонентные модели могут приводить к значительной погрешности определения %ЖМТ. В этом случае лучше использовать четырёхкомпонентную модель состава тела с одновременной оценкой содержания воды в организме и минеральной массы тела:

$$\text{МТ} = \text{ЖМТ} + \text{ОВО} + \text{ММТ} + \text{МО},$$

где МО – масса остатка (в данном случае – белковой фракции). Вместо ММТ также рассматривается минеральная масса костей (ММК) (рис. 3), при этом МО представляет собой сумму содержания белков и минералов мягких тканей.

В последнее десятилетие четырёхкомпонентные модели состава тела принято рассматривать в качестве эталона для проверки точности уже существующих и разработки новых прогнозирующих формул для оценки жировой массы на основе калиперометрии, антропометрии и биоимпедансного анализа (Heyward, Wagner, 2004).

Говоря о четырёхкомпонентных моделях, следует рассмотреть одну из первых теоретических моделей состава тела, предложенную Й. Матейкой в 1921 году (Matiegka, 1921). В этой модели масса тела представлена в виде суммы масс подкожной жировой ткани вместе с кожей (ПЖТ), скелетных мышц (СММ), скелета (СМ) и массы остатка (МО), содержащего внутренние органы:

$$\mathbf{MT = ПЖТ + СММ + СМ + МО.}$$

Матейка взял за основу тканевой уровень строения тела. С использованием ограниченного количества патолого-анатомических данных он построил антропометрические формулы для оценки ПЖТ, СММ, СМ и МО:

$$\mathbf{ПЖТ = 0,065 \times (d/6) \times S,}$$

$$\mathbf{СММ = 6,5 \times r^2 \times ДТ,}$$

$$\mathbf{СМ = 1,2 \times Q^2 \times ДТ,}$$

$$\mathbf{МО = 0,206 \times МТ,}$$

где МТ – масса тела. Величины ПЖТ, СММ, СМ и МТ выражаются в граммах, d – суммарная толщина шести кожно-жировых складок (мм), S – площадь поверхности тела (см^2), r – средний радиус плеча, предплечья, бедра и голени (см), Q – средний диаметр дистальных частей плеча, предплечья, бедра и голени (см), а ДТ – длина тела (см).

В 1980 году Дринкуотер и Росс показали, что на спортивном контингенте формулы Матейки дают 8%-ное расхождение с измеренными значениями массы тела (Drinkwater, Ross, 1980). Для устранения этой погрешности авторы предложили уточнённые значения констант в формулах. При этом наибольшие изменения претерпела константа в формуле для ПЖТ (0,036 вместо исходного значения 0,065) [цит. по (Brodie et al., 1998)]. В дальнейшем с использованием новых патологоанатомических данных о составе тела (Brussels cadaver study) те же авторы получили, что погрешность формул Матейки при определении ПЖТ, СММ, СМ и МО составляет 21,9%, 8,5%, 24,8% и 11,6%, соответственно. Они предложили новый набор коэффициентов для исходных формул Матейки и обратили внимание на их популяционную специфичность (Drinkwater et al., 1986).

Значительный сдвиг в организации и планировании исследований состава тела человека произошёл с появлением пятиуровневой многокомпо-

нентной модели состава тела, в которой выделяют свыше 30 основных компонент (табл. 6). В отличие от других моделей, строение тела рассматривается здесь на всех уровнях его организации: *элементном, молекулярном, клеточном, тканевом* и на *уровне организма в целом*.⁶

Таблица 6. Пятиуровневая многокомпонентная модель состава тела (Wang et al., 1992; Heysmsfield et al., 2005)

Уровень организации	Компоненты
Элементный	O, C, H, N, Ca, P, S, K, Na, Mg, ...
Молекулярный	Вода, липиды (триглицериды, фосфолипиды), безжировая масса, белки, углеводы, минеральные вещества
Клеточный	Клетки, адипоциты, внеклеточная жидкость, клеточная жидкость, клеточная масса тела, внеклеточные твёрдые вещества
Тканевой	Скелетные мышцы, жировая ткань (подкожная, внутренняя), костная ткань, кровь, остальные органы и ткани
Организм в целом	Голова, шея, туловище, конечности

2.3. Антропометрические формулы для оценки состава тела

2.3.1. Оценка жировой массы

В настоящее время существует свыше 100 различных формул для определения абсолютного и относительного содержания жира в организме человека на основе калиперометрии. Отсутствие универсальности вызвано не только субъективными факторами, такими как различия традиций, личного опыта и выбора конкретных специалистов. Существенную роль играет популяционная неоднородность в зависимости от пола, возраста, этнической принадлежности, уровня физической активности и состояния здоровья индивидов.

Формулы для оценки жировой массы получаются путём калибровки регрессионных зависимостей на основе сопоставления результатов калиперометрии с одним из эталонных методов, в качестве которого могут служить гидростатическая денситометрия, двухэнергетическая рентгеновская денситометрия или совокупность методов 4-компонентной модели состава тела.

⁶ Желаящие подробнее ознакомиться с моделями состава тела могут обратиться к книге (Мартиросов и соавт., 2006).

Этим формулам соответствует множество различных схем выбора участков измерений. Наиболее популярны следующие формулы для оценки жировой массы тела:

Для здоровых женщин 18-55 лет (Jackson et al., 1980):

$$\%ЖМТ = 495 / [1,099421 - 0,0009929 \times S_3 + 0,0000023 \times S_3^2 - 0,0001392 \times \text{Возраст (лет)}] - 450,$$

где S_3 – сумма трех кожно-жировых складок (мм) – на задней поверхности плеча, верхнеподвздошная и на середине бедра сзади.

Для здоровых мужчин от 18 лет до 61 года (Jackson, Pollock, 1978):

$$\%ЖМТ = 495 / [1,109380 - 0,0008267 \times S_3 + 0,0000016 \times S_3^2 - 0,0002574 \times \text{Возраст (лет)}] - 450,$$

где S_3 – сумма трёх складок (мм) – на животе возле пупка, на груди и на середине бедра сзади.

Для женщин и мужчин от 16 до 72 лет (Durnin, Womersley, 1974)

$$\%ЖМТ = 495 / [1,1509 - 0,0715 \times \log S_4] - 450,$$

где S_4 – сумма четырёх складок (мм) – на задней поверхности плеча, верхнеподвздошная, на животе возле пупка, на середине бедра (*женщины*); на передней и задней поверхности плеча, под лопаткой, верхнеподвздошная (*мужчины*).

Для женщин и мужчин (Durnin, Rahaman, 1967):

$$\%ЖМТ = 495 / [1,1369 - 0,0598 \times \log S_4] - 450,$$

где S_4 – сумма четырёх указанных выше складок (мм).

Для молодых женщин (18-29 лет), активно занимающихся спортом (Jackson et al., 1980)

$$\%ЖМТ = 495 / [1,096095 - 0,0006952 \times S_4 + 0,0000011 \times S_4^2 - 0,0000714 \times \text{Возраст (лет)}] - 450,$$

где S_4 – сумма четырёх указанных выше складок (мм);

Для мужчин (18 лет – 61 год), активно занимающихся спортом (Jackson, Pollock, 1978):

$$\%ЖМТ = 495 / [1,1120 - 0,00043499 \times S_7 + 0,00000055 \times S_7^2 - 0,0002883 \times \text{Возраст (лет)}] - 450,$$

где S_7 – сумма семи складок (мм) – на задней поверхности плеча, на груди, подмышечная, под лопаткой, верхнеподвздошная, на животе возле пупка, на середине бедра сзади;

Формулы для занимающихся спортом наиболее точны в случае тощих индивидов и не рекомендованы к применению при относительном содержании жира у мужчин свыше 12%, а у женщин – свыше 14%.

Для детей от 4 до 11 лет разных этнических групп в зависимости от пола при общем содержании жира в теле до 30 кг (Dezenberg, 1999):

$$\text{ЖМТ (кг)} = 0,38 \times \text{Масса тела (кг)} + 0,30 \times \text{Складка на трицепсе (мм)} + 0,87 \times \text{Пол} + 0,81 \times \text{Этническая принадлежность} - 9,42,$$

где Пол = 1 (мужской), 2 (женский); Этническая принадлежность = 1 (европеиды), 2 (афроамериканцы).

Из антропометрических формул, используемых для определения показателей состава массы тела, в России и ряде других стран весьма популярны формулы Матейки⁷, применяемые для индивидов возраста от 16 лет и старше. Формула для определения массы жировых тканей в организме (МЖТ) имеет вид:

$$\text{МЖТ (кг)} = d \times S \times k,$$

где d – средняя толщина слоя подкожного жира вместе с кожей (мм), S – площадь поверхности тела (m^2), k – константа, равная 1,3, полученная экспериментально на анатомическом материале. Для мужчин величина d вычисляется следующим образом:

⁷ Йиндржих Матейка (1862–1941) – чешский антрополог, один из основоположников анатомического подхода к изучению состава тела.

$$d = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8) / 16,$$

где d_1, \dots, d_8 – толщина кожно-жировых складок (мм) на плече (спереди и сзади), предплечье, спине, животе, бедре, голени и груди, соответственно (схема Н.Ю. Лутовиновой и др.). Толщина кожно-жировой складки соответствует двойному слою подкожного жира и кожи, поэтому числитель делится не на 8 (по числу измеряемых складок), а на 16. Соответствующая формула для женщин представляет собой сумму первых семи слагаемых, делённую на 14 (складка на груди не измеряется). Площадь поверхности тела определяется по формуле Дюбуа:

$$S = 71,84 \times (\text{Масса тела, кг})^{0,425} \times (\text{Длина тела, см})^{0,725}.$$

Следует отметить принципиальное отличие понятий “жировые ткани” и “жир тела”. Первое рассматривается традиционно (по Матейке) в качестве одной из фракций 4-компонентной *анатомической* модели состава тела (масса тела = масса жировых тканей + масса скелета + масса скелетных мышц + масса внутренних органов и остатка). Второе относится к *химическим* моделям состава тела (например, двухкомпонентной: масса тела = жировая масса тела + масса тела без жира). Термином “жировая масса” обозначают массу всего жира в организме. Она определяется не только количеством подкожного и внутреннего жира, но и содержанием жира в составе метаболически активных органов (мозг, печень и др.). С другой стороны, в состав жировых тканей входят жир (80-85%), вода (13-18%) и белок (2%). Таким образом, жировая масса тела есть масса жира, входящего в состав жировых тканей, плюс масса остального (“существенного”) жира. Последний необходим для нормальной жизнедеятельности, и составляет около 3% и 10% массы тела у мужчин и женщин, соответственно. Указанные величины соответствуют нижней границе физиологической нормы и, следовательно, предельно допустимому снижению величины %ЖМТ. Это надо иметь в виду при динамическом наблюдении за состоянием спортсменов в тренировочного процессе и при подготовке к соревнованиям: приближение значений %ЖМТ к указан-

ным пределам чаще всего связано с перенапряжением, перетренировкой и другими нежелательными последствиями нарушения обмена веществ.

Ввиду нехватки прямых количественных данных точное соотношение между величинами %МЖТ и %ЖМТ в настоящее время неясно, некоторое представление об этом даёт табл. 7, в которой соответствующие значения получены для одной и той же популяции взрослых спортсменов.

Таблица 7. Соотношение между величинами %МЖТ и %ЖМТ по данным калиперометрии и волюминометрии, соответственно, для взрослых спортсменов (Мартиросов и соавт., 1984)

%МЖТ	%ЖМТ	%МЖТ	%ЖМТ
7,0	9,2	13,0	15,6
8,0	10,4	14,0	16,3
9,0	11,3	15,0	17,7
10,0	12,5	16,0	18,4
11,0	13,4	17,0	19,6
12,0	14,2	18,0	20,2

Не рекомендуется использовать калиперометрию для оценки %ЖМТ при наличии у обследуемого высокого процентного содержания жира в организме. В этом случае предпочтительнее применять антропометрические формулы, построенные на основе обхватных размеров тела:

Для женщин (20-60 лет) с высоким относительным содержанием жира в массе тела:

$$\%ЖМТ = 0,11077 \times \text{Обхват живота (см)} - 0,17666 \times \text{Длина тела (м)} + 0,14354 \times \text{Масса тела (кг)} + 51,033.$$

Для мужчин (24-68 лет) с высоким относительным содержанием жира в массе тела:

$$\%ЖМТ = 0,31457 \times \text{Обхват живота (см)} - 0,10969 \times \text{Масса тела (кг)} + 10,834.$$

Обхват живота измеряется на уровне пупочной точки в момент паузы между вдохом и выдохом. Стандартная ошибка определения %ЖМТ по этим формулам составляет от 3% до 3,6%.

В табл. 8 показан вариант классификации относительного содержания жира в массе тела у мужчин и женщин, соответственно. Отметим, что содержание жира в организме спортсменов характеризуется, как правило, очень низкими значениями (табл. 9).

Таблица 8. Классификация относительного содержания жира (%ЖМТ) в организме мужчин и женщин в общей популяции

Классификация	Возраст, лет									
	20-29		30-39		40-49		50-59		>60	
	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж
Очень низкое	<11	<16	<12	<17	<14	<18	<15	<19	<16	<20
Низкое	11-13	16-19	12-14	17-20	14-16	18-21	15-17	19-22	16-18	20-23
Оптимальное	14-20	20-28	15-21	21-29	17-23	22-30	18-24	23-31	19-25	24-32
Умеренно высокое	21-23	29-31	22-24	30-32	24-26	31-33	25-27	32-34	26-28	33-35

2.3.2. Оценка мышечной массы

Первые антропометрические формулы для оценки скелетно-мышечной массы (СММ) предложил Матейка на основе патологоанатомических данных:

$$\text{СММ (кг)} = \text{ДТ} \times r^2 \times k,$$

где ДТ – длина тела (м), k – константа, равная 6,5, r – среднее значение радиусов плеча, предплечья, бедра и голени без подкожного жира и кожи (см), определяемое по формуле

$$r = (\text{сумма обхватов плеча, предплечья, бедра и голени (см)} / 25,12) - (\text{сумма жировых складок на предплечье, плече (спереди и сзади), бедре и голени (мм)} / 100).$$

Обхват плеча измеряется в спокойном состоянии в месте наибольшего развития; обхват предплечья – в месте наибольшего развития мышц на свободно свисающей руке, мышцы расслаблены; обхват бедра измеряется под

ягодичной складкой, вес тела равномерно распределён на обе ноги, расположенные на ширине плеч; обхват голени измеряется в месте наибольшего развития икроножной мышцы. Складки определяются в том же положении, что и обхваты.

В начале и середине 1990-х были разработаны новые формулы, основанные на изучении 12 трупов пожилых мужчин. Недавно были предложены формулы для определения скелетно-мышечной массы у индивидов общей популяции с индексом массы тела ($\text{кг}/\text{м}^2$) < 30 (отсутствие ожирения) путём сопоставления данных антропометрии с результатами магнитно-резонансной томографии. Исследование проводилось на большой выборке, полученные формулы имеют следующий вид (Lee et al., 2000):

1) На основе обхватных размеров тела с учётом толщины кожно-жировых складок:

$$\text{СММ (кг)} = \text{ДТ} \times (0,00744 \times \text{СОП}^2 + 0,00088 \times \text{СОБ}^2 + 0,00441 \text{ СОГ}^2) + 2,4 \times \text{Пол} - 0,048 \times \text{Возраст (лет)} + \text{Раса} + 7,8,$$

где СОП – скорректированный обхват плеча (см), равный обхвату плеча минус толщина кожно-жировой складки на трицепсе; СОБ – это обхват бедра минус толщина складки на середине бедра (см); СОГ – это обхват голени минус толщина складки на медиальной поверхности голени (см); Пол = 1 (мужской), 0 (женский); Раса = -2 (азиаты), 1,1 (афро-американцы), 0 (белые и латиноамериканцы) ($r^2=0,91$ при $p<0,0001$, а $\text{SEE}=2,2\text{кг}$);

2) На основе длины и массы тела:

$$\text{СММ (кг)} = 0,244 \times \text{МТ} + 7,80 \times \text{ДТ} + 6,6 \times \text{Пол} - 0,098 \times \text{Возраст (лет)} + \text{Раса} - 3,3,$$

где МТ – масса тела (кг), Пол = 1 (мужчины), 0 (женщины), Раса = - 1,2 (азиаты), 1,4 (афро-американцы), 0 (белые и латиноамериканцы) ($r^2=0,86$ при $p<0,0001$, а $\text{SEE}=2,8\text{кг}$).

Как отмечают авторы, формулы для определения состава тела, включающие кожно-жировые складки и объёмы конечностей, более точны по сравнению с соотношениями, полученными на основе длины и массы тела. Как и все прогнозирующие антропометрические формулы, они специфичны для конкретных популяций и могут, например, оказаться непригодными для лиц, занимающихся бодибилдингом.

Таблица 9. Состав тела высококвалифицированных спортсменов. Данные для мужчин

Вид спорта	n	ДТ, см	МТ, кг	МЖТ, кг	%МЖТ	СММ, кг	%СММ
Лёгкая атлетика							
Бег на 100м	53	175,1±6,2	77,8±6,2	7,5±1,6	10,1±2,0	38,6±4,2	52,2±2,6
Бег на 400м	54	177,8±4,2	70,8±5,5	6,8±1,4	9,6±1,7	36,8±3,2	51,9±2,2
Бег на 1500м	61	174,9±5,4	66,9±5,0	6,1±1,6	9,1±2,3	33,2±2,9	49,7±2,4
Марафон	131	169,6±5,5	63,9±4,5	6,7±1,6	10,5±2,4	31,2±3,7	48,8±3,7
Спортивная ходьба, 50км	39	173,7±4,9	68,9±5,7	7,1±1,7	10,5±2,4	35,4±3,5	51,5±2,8
Метание диска	40	188,3±5,6	109,3±12,2	19,2±7,6	17,3±5,6	55,0±5,4	50,5±3,7
Метание копья	30	180,4±6,0	88,5±7,5	11,6±3,5	13,0±3,6	46,1±4,6	52,1±3,3
Метание молота	34	183,6±5,9	105,0±11,8	19,4±6,6	18,1±5,2	52,0±5,8	49,7±3,1
Прыжки в длину	29	181,2±5,2	74,8±6,2	7,4±1,5	10,0±1,9	39,8±4,6	52,9±3,0
Плавание							
Вольный стиль, 100м	40	180,2±5,1	75,6±7,8	7,4±1,4	9,8±1,4	40,5±4,1	53,5±4,4
Вольный стиль, 400м	20	174,9±4,3	67,5±5,6	6,7±0,8	9,9±0,6	37,9±1,9	56,2±4,7
Вольный стиль, 1500м	20	174,0±5,9	65,2±6,8	6,1±0,7	9,3±0,9	35,4±1,7	54,3±4,9
Брасс	40	174,0±5,3	77,1±6,3	7,2±1,2	9,4±1,2	38,7±3,4	50,2±4,4
На спине	30	182,0±4,0	70,1±3,8	6,1±0,7	8,7±1,1	37,3±2,8	53,2±4,3
Комплексное	35	180,4±4,7	72,9±7,3	6,6±0,6	9,0±0,8	37,9±2,8	51,9±5,1
Гребля							
На байдарках	50	181,5±5,1	82,2±6,3	9,0±2,3	10,8±2,5	41,1±3,8	50,1±2,4
Академическая	182	186,9±4,9	87,5±6,8	10,8±3,2	12,2±3,1	44,9±3,8	51,2±2,5
Футбол							
Вратари	38	180,3±4,1	79,0±4,9	8,2±2,0	10,3±2,2	40,6±3,0	51,4±3,0
Защитники	115	176,4±4,5	74,1±5,1	7,6±1,8	10,2±2,1	37,7±3,0	50,9±2,2
Нападающие	85	173,2±4,4	72,5±4,7	7,5±1,5	10,3±1,7	36,7±3,0	50,6±2,0
Баскетбол							
Центровые	38	204,0±5,1	100,4±9,8	13,7±5,6	13,7±5,8	50,5±5,8	50,3±3,7
Нападающие	63	196,1±3,5	92,2±5,4	11,5±2,6	12,4±2,6	46,7±4,0	50,9±2,9
Защитники	75	187,2±4,9	84,2±5,7	10,5±2,4	12,4±2,8	43,1±4,0	51,9±2,7

Данные были получены сотрудниками лаборатории спортивной антропологии, морфологии и генетики ВНИИФК Т.Ф. Абрамовой и Н.И. Кочетковой под руководством Э.Г. Мартиросова.

Возраст обследованных составил от 16 до 25 лет, стаж занятий спортом – от 6 до 12 лет.

Приведённые в табл. 9 значения можно рассматривать в первом приближении как оптимальные для соответствующих видов спорта. Отметим

существенные межгрупповые различия не только между отдельными видами спорта, но и между отдельными дисциплинами или амплуа в пределах одного вида. Вместе с тем, установлены межгрупповые различия состава тела спортсменов высокой квалификации – представителей одного вида спорта, ранжированных по уровню спортивных достижений. Антропометрические методы оценки жировой и мышечной массы применяются также в целях мониторинга индивидуального состояния спортсменов. Существуют формулы и для оценки состава массы сегментов тела.

2.3.3. Оценка безжировой массы

Для оценки безжировой (тощей) массы тела у взрослых людей пользуются формулой Behnke (1959). Под тощей массой тела Behnke понимает помимо мускулатуры, скелета, внутренних органов синовиальный жир суставов, жир костного мозга, миелиновые оболочки проводящих нервных путей, липиды крови. Формула имеет следующий вид:

$$\text{БМТ} = R^2 \times \pi \times h,$$

где h — длина тела (см), R — радиус безжировой массы, равный сумме семи размеров (акромиального диаметра, тазогребневого диаметра, поперечного диаметра грудной клетки, проекционного вертикального диаметра, ширины двух сомкнутых коленей, обхвата дистального отдела голени, обхвата запястья), деленной на 181.

Barter, Forbes в 1963 г. предложили уравнения регрессии для определения тощей массы тела у мужчин и женщин:

Для мужчин:

$$\text{БМТ (кг)} = 2,70 W + 40,9 \pm 6,3$$

$$\text{БМТ (кг)} = 0,676 H - 56,6 \pm 6,7$$

Для женщин:

$$\text{БМТ (кг)} = 0,328 W + 21,7 \pm 4,2;$$

$$\text{БМТ (кг)} = 0,277 H - 2,7 \pm 4,6,$$

где БМТ – безжировая масса (кг), W – масса тела (кг), H – длина тела (см).

Косвенно об относительном количестве мускулатуры можно судить по данным физиологических (показатели основного обмена) и биохимических (определение водного компонента) методов исследования, поскольку мышечная ткань является основным потребителем кислорода и содержит наибольшее количество воды (Pitts, 1963). Уже Harris и Benedict (1918) в своей работе «Биометрическое изучение основного обмена человека» указывали, что различия основного обмена у людей одинакового роста связаны с разным развитием мышц.

Miller и Blyth (1952, 1953), Behnke (1961), Deboln (1956), Garn et al (1953) по данным состава тела и физиологическим показателям нашли величину мышечной массы и указали на ее взаимосвязь с основным обменом. Из этого следует, что мышечную массу можно определять исходя из основного обмена.

Behnke (1953), Keys и Brozek (1953) пришли к выводу, что удобнее устанавливать взаимосвязь между основным потреблением кислорода и активной мышечной массой, чем, например, между потреблением кислорода и площадью поверхности тела.

Подробные указания мы находим в работах Benedict, Higgins (1915, 1916), Le Bretton и Scheffer (1923) и В.С. Ивлева (1954, 1959). Эти авторы отмечали, что интенсивность основного обмена у человека и животных определяется соотношением между метаболически активной массой тела и массой его индифферентных составных частей. Было предложено в связи с этим определять интенсивность основного обмена по энергетическим затратам на 1 кг «активной» или «протоплазматической» массы тела. Основное потребление кислорода изменяется у лиц разного возраста, соматического типа и разной упитанности всегда в зависимости от величины мышечной массы. Однако эта зависимость относится лишь к лицам, у которых деятельность желез внутренней секреции, прежде всего щитовидной железы, нормальна (Osserman et al., 1950).

Miller и Blyth (1952) определяли у 79 студентов удельный вес и количество кислорода, поглощенного в покое за 1 мин. Коэффициент корреляции между количеством безжировой массы тела и количеством поглощенного кислорода в условиях основного обмена равнялся $0,924 \pm 0,018$. По уравнению регрессии авторы получили следующие оценки:

$$\text{Масса безжировой ткани (кг)} = -7,36 + 0,2929 x,$$

где x — количество кислорода в 1 см^3 , поглощенного за 1 минуту (Miller, Blyth, 1952);

$$\text{Мышечная масса} = (\text{количество калорий за 1 ч.} - 0,2 \text{ длины тела}) / 0,6165.$$

Применяя эти формулы, можно по данным основного обмена определить у молодых мужчин количество безжировой массы. Недостатком метода, на наш взгляд, является то, что, считая количество поглощенного кислорода пропорциональным безжировой массе, не учитывают интенсивность окислительных процессов, различную даже у людей одного возраста.

Рядом авторов (Hoesslin, 1927; Kleiber, 1932, 1947) установлено, что такие физиологические показатели, связанные с основным обменом и обезжиренным компонентом, как масса эритроцитов, количество циркулирующей крови и потребляемого кислорода, артериальное давление, диаметр кровеносных сосудов и количество крови, протекающей через них, пропорционально массе тела в степени $2/3$.

О линейной зависимости между обезжиренной массой тела и массой эритроцитов сообщается в работах (Gopalan et al., 1955; Banerjee, Sen, 1958; Ryan et al., 1957).

Muldowney (1957) вывел уравнение регрессии для определения тощей массы: $y = 32,7 x + 155,17$, где y — искомая величина обезжиренной массы тела (кг); x — масса эритроцитов (кг). Четкая корреляция была обнаружена им между основным обменом и суточным выделением азота с мочой, а также со-

держанием в моче мочевины, мочевой кислоты, креатинина и других азото-содержащих соединений.

Существует и противоположная точка зрения. Так, Ashworth и Kowgill (1938), Turner et al. (1935) не обнаружили зависимости между основным обменом и выделением азота с мочой. Определение обезжиренной массы по выделенному креатинину, обнаруживающему якобы высокую корреляцию с показателями основного обмена, также является спорным (Ryan et al., 1957; Edwards, Whyte, 1959; Cheek, 1968; Viteri et al., 1971).

Некоторые авторы отмечают, что если количество воды внутри клеток является величиной постоянной и составляет в среднем 67–72% (McCanse, Widdowson, 1951), то корреляция между ним и основным обменом также высока (Wedgwood et al., 1953). Известная пропорциональность имеется между количеством клеточной массы и внеклеточной воды (Dahlstrom, 1950). Pace et al. (1945) установили высокую корреляцию между содержанием воды и количеством тощей массы (БМТ). В связи с этим было выведено уравнение, позволяющее определить тощую массу по содержанию воды:

$$\%БМТ = \%ОВО / 0,732.$$

2.3.4. Оценка скелетной массы

Проверка и критика формулы Матейки для определения костного компонента была отражена в работах ряда авторов (Trotter, 1954; Merz et al, 1956; Брожек, 1960; Смирнова, 1964). По-видимому, по величинам дистальных (трансверсальных) диаметров трубчатых костей нельзя судить о массивности скелета. Дистальные диаметры не обнаруживают высокой корреляции с широтными размерами тела (табл. 10).

Величины размеров скелета, по всей вероятности, еще недостаточны, чтобы судить о его весе, тем более что по указаниям ряда авторов, размеры и минеральная насыщенность кости либо мало связаны, либо находятся в противоположной зависимости (Зенкевич, 1948). Необходимость учитывать минеральную насыщенность скелета при определении его веса подчеркивалась

в работах Farland и William (1954). Оказывается, при равных размерах скелета его вес будет больше у тех индивидов, у которых выше минеральная насыщенность костей (Trotter, 1955).

Таблица 10. Коэффициенты корреляции между антропометрическими признаками (мужчины, Москва–Аэропроект, возраст 25–44 г.).

Коррелируемые признаки	<i>N</i>	<i>r</i> ± <i>m_z</i>
Ширина дистального диаметра плеча – ширина плеч	148	0,267 ± 0,011
Ширина дистального диаметра плеча – ширина таза	148	0,211 ± 0,013
Ширина дистального диаметра бедра – ширина таза	148	0,313 ± 0,016

Во многих работах изучались изолированные кости скелета (в основном длинные кости конечностей): их вес, размеры, количество компакты и спонгиозы, минеральная насыщенность (Trotter, 1954, 1956; Merz et al., 1956; Baker, 1958). В некоторых из этих работ одновременно определялся вес скелета в целом. В результате были выведены уравнения регрессии для определения веса скелета (Merz, 1956) при использовании следующих коэффициентов корреляции: между весом всего скелета и длиной бедра ($r = 0,420$ для мужчин и $r = 0,320$ для женщин); между весом всего скелета и весом бедра ($r=0,903$ для мужчин и $r = 0,884$ для женщин) и др.

Н.С. Тайц (1965) предложила метод рентгенографии мягких тканей и способ расчета среднего относительного объема жира. При этом участок для измерения подкожно-жирового слоя должен быть легкодоступным, иметь относительно равномерное распределение жира, служить показателем общего количества жира в организме. Данным условиям в большей степени отвечает распределение жира на плече, бедре и в подлопаточной области. Для метрической рентгенографии особенно удобна область плеча, которая включает лишь одну плечевую кость (это упрощает расчеты). Условия для рентгенографии, позволяющие четко различать подкожно-жировой слой, мышцы и кость, должны быть следующие: напряжение 42 кВ, сила тока – 200 мА, экспозиция – 0,5 с; рука испытуемого (правая или левая, лучше одна и та же) на-

ходится в горизонтальном положении на специальной раме; кассета лежит под плечом, кожа слегка соприкасается с ней; расстояние от кассеты до трубки строго стандартное – 180 см (изображение в этом случае ближе всего к истинному); центральный луч направлен на середину расстояния между головкой и мышелками плечевой кости. На рентгенограммах с помощью масштабной линейки определяются средние величины диаметра всего плеча – D (мм), диаметра плечевой кости d (мм), толщины жирового слоя j (мм). Каждый из указанных показателей определяется как результат усреднения измерений трех сечений, перпендикулярных к продольной оси плеча. Первое сечение проводится через точку прикрепления дельтовидной мышцы, два других – выше и ниже на 7 см.

Для определения абсолютной массы костной ткани на практике часто пользуются формулой Matiegka (1921):

$$O = L \times o^2 \times k,$$

где O – абсолютная масса костной ткани (кг), L – длина тела (см), o^2 – квадрат средней величины диаметров дистальных частей плеча, предплечья, бедра и голени, k – константа, равная 1,2.

При необходимости сопоставить относительные значения костного компонента у различных индивидов или групп определяются значения компонента в процентах к массе тела.

Метод прижизненной оценки сухого веса скелета, лишённого жира, предложили Merz, Trotter и Peterson (1973). Они изучили, используя рентгенологический метод, а также взвешивание на балансире Толедо, наборы из 204 скелетов мужчин и женщин европейцев и негроидов, и вывели уравнения множественной регрессии для определения веса скелета на основании прогностически значимых показателей (табл. 11). К числу таких показателей относятся: x_1 – возраст (в годах); x_2 – длина тела (см); x_3 – средняя площадь средней трети бедренных костей, определенная радиографически (переднезадний вид – см²); x_4 – средняя площадь компакты кости в средней трети бед-

ренных костей, определенная радиографически (переднезадний вид – см²). Максимальная длина бедренной кости определялась на пленке с помощью металлической линейки, расположенной на фоне снимаемой конечности. Средняя половина длины определялась также на пленке по линейке. Площадь ствола бедренной кости (наружные границы средней трети кости) и площадь компакты в этом же месте (внутренние границы компакты) определялись с помощью планиметра с погрешностью до 0,1 см². Надежность расчетов оценивалась по результатам трех последовательных измерений. Если различия результатов измерений находятся в пределах 0,5 см², то они обладают достаточной надежностью.

Таблица 11. Регрессионные формулы для оценки массы скелета (в граммах)

Независимая переменная	Формулы	R	R	Стандартная ошибка (г)
Площадь компакты	<i>Белые мужчины</i> $\varepsilon = 93,8 x_4 + 1621,3$	0,6091	0,6247	517,1
Длина тела* и площадь ствола	<i>Негроиды мужчины</i> $\varepsilon = 28,1 x_2 + 42,6 x_3 - 2884,8$		–	654,3
Площадь компакты	<i>Белые женщины</i> $\varepsilon = 73,2 x_4 + 1578,7$	0,7078		450,7
Возраст, площадь ствола, площадь компакты	<i>Негроиды женщины</i> $\varepsilon = 13,6 x_1 + 60,8 x_3 + 29,5 x_4 + 13,1$	–	0,6864	469,7

* Длина тела должна быть скорректирована прибавлением 2,5 см к той длине, которую получают при измерении живого человека (Троттер, Глессер)

2.4. Оценка масс сегментов тела

Прижизненное определение массы отдельных частей тела представляет как теоретический, так и практический интерес, особенно для спортсменов (в связи с контролем веса тела, формированием соответствующего специализации телосложения, воспитанием двигательных качеств и др.). Данной проблеме было посвящено множество исследований (Hay, 1973, 1974; Braune,

Fischer, 1889; Dempster, 1975), и в результате предложены формулы для расчета масс сегментов тела по антропометрическим данным.

Оригинальные исследования проведены В.М. Зациорским и В.Н. Селуяновым. Они предложили регрессионные формулы для вычисления масс-инерционных характеристик человека по наиболее значимым антропометрическим признакам, а также уравнения множественной регрессии для вычисления биомеханических длин сегментов по величине стандартных антропометрических признаков (табл. 12а-12г).

Таблица 12а. Наиболее значимые измеряемые антропометрические признаки для расчета масс-инерционных характеристик человека (Зациорский, Селуянов, 1978)

Номер признака	Признак	Размерность
1	Длина стопы	см
2	Ширина стопы	см
3	Жировая масса	см
4	Длина голени	см
5	Дистальный диаметр голени	см
6	Проксимальный обхват голени	см
7	Максимальный обхват голени	см
8	Дистальный обхват голени	см
9	Длина бедра	см
10	Дистальный диаметр бедра	см
11	Проксимальный обхват бедра	см
12	Срединный обхват бедра	см
13	Дистальный обхват бедра	см
14	Длина кисти	см
15	Ширина кисти	см
16	Обхват кисти	см
17	Длина плеча	см
18	Длина предплечья	см
19	Дистальный диаметр предплечья	см
20	Проксимальный обхват предплечья	см
21	Срединный обхват предплечья	см
22	Дистальный обхват предплечья	см
23	Длина ноги	см
24	Длина тела	см
25	Длина руки	см
26	Обхват плеча (в спокойном состоянии)	см
27	Дистальный диаметр плеча	см
28	Длина от VII шейного позвонка до нижнегрудинной точки	см
29	Обхват груди (в спокойном состоянии)	см
30	Среднегрудинный диаметр сагиттальный	см
31	Длина от нижнегрудинной точки до пупковой точки	см
32	Обхват по пупковой линии	см
33	Тазогребневый диаметр	см

34	Обхват бедер через ягодицы	см
35	Подвздошно-остистый диаметр	см
36	Масса тела	кг

Таблица 126. Расчетные формулы для прогнозирования масс-инерционных показателей сегментов тела человека (Зациорский, Селуянов, 1978)

Номер признака	Признак	Формула	Размерность
37	Масса стопы	$-0,6286+0,066x_1-0,0136x_2+0,0048x_3$	кг
38	Масса голени	$-6,017+0,0675x_4+0,0145x_5+0,205(x_6+x_7+x_8)/3$	кг
39	Масса бедра	$-17,819+0,153x_9+0,230x_{10}+0,367(x_{11}+x_{12}+x_{13})/3$	кг
40	Масса кисти	$-0,594+0,041x_{14}-0,035x_{15}+0,029(x_{16}+x_{22})/2$	кг
41	Масса предплечья	$-2,04+0,05x_{18}-0,049x_{19}+0,087(x_{20}+x_{21}+x_{22})/3$	кг
42	Биомеханическая длина плеча	$4,64+0,586x_{17}$	см
43	Масса плеча	$-2,58+0,047x_{42}+0,104x_{26}+0,0651(x_{19}+x_{27})/2$	кг
44	Длина верхнего отдела туловища	$17,13+0,421x_{28}$	см
45	Масса верхнего отдела туловища	$-18,91+0,421x_{44}+0,199x_{29}+0,078x_{30}+0,065x_3$	кг
46	Длина среднего отдела туловища	$7,1+0,69x_{31}$	см
47	Масса среднего отдела туловища	$-13,62+0,444x_{46}+0,195x_{32}-0,017x_{33}+0,0887x_3$	кг
48	Масса нижнего отдела туловища	$15,18+0,182x_{34}+0,243x_{35}+0,0216x_3$	кг
49	Масса стопы	$-2,01-0,0091x_{23}+0,020x_{24}+0,025x_{30}-0,0024x_{35}$	кг
50	Масса голени	$-4,28-0,015x_{23}+0,036x_{24}+0,089x_{30}+0,026x_{35}$	кг
51	Масса бедра	$-12,47+0,0368x_{23}+0,072x_{24}+0,368x_{30}-0,057x_{35}$	кг
52	Масса кисти	$-0,886-0,0127x_{23}+0,013x_{24}-0,0013x_{30}+0,012x_{35}$	кг
53	Масса предплечья	$-0,958+0,0035x_{23}+0,00387x_{24}+0,037x_{30}+0,0167x_{35}$	кг
54	Масса плеча	$-0,931+0,0236x_{23}-0,0071x_{24}+0,028x_{30}+0,051x_{35}$	кг
55	Масса верхнего отдела туловища	$-3,307+0,049x_{23}-0,059x_{24}+0,371x_{30}+0,239x_{35}$	кг
56	Масса среднего отдела туловища	$-25,04-0,245x_{23}+0,21x_{24}+0,675x_{30}+0,424x_{35}$	кг
57	Масса нижнего отдела туловища	$-18,708-0,0436x_{23}+0,0745x_{24}+0,392x_{30}+0,433x_{35}$	кг
58	Масса стопы	$-0,829+0,0077x_{36}+0,0073x_{24}$	кг
59	Масса голени	$-1,592+0,0362x_{36}+0,0121x_{24}$	кг
60	Масса бедра	$-2,649+0,1463x_{36}+0,0137x_{24}$	кг
61	Масса кисти	$-0,1165+0,0036x_{36}+0,00175x_{24}$	кг
62	Масса предплечья	$0,3185+0,01445x_{36}-0,00114x_{24}$	кг
63	Масса плеча	$0,250+0,03012x_{36}-0,0027x_{24}$	кг
64	Масса верхнего отдела туловища	$8,2144+0,1862x_{36}-0,0584x_{24}$	кг
65	Масса среднего отдела туловища	$7,181+0,2234x_{36}-0,0633x_{24}$	кг
66	Масса нижнего отдела туловища	$-7,498+0,0976x_{36}+0,04896x_{24}$	кг

Таблица 12в. Коэффициенты уравнений множественной регрессии вида $y=B_0+B_1x_1+B_2x_2+B_3x_3$ для вычисления биомеханических длин сегментов по длине ноги (x_1), длине тела (x_2) и длине руки (x_3) (Зациорский, Селуянов, 1978)

Сегмент	B_0	B_1	B_2	B_3	R	σ
Стопа	0,516	0,0086	0,109	0,069	0,59	1,27
Голень	1,05	0,282	0,049	0,033	0,78	1,4
Бедро	5,34	0,33	0,093	-0,012	0,79	1,6
Кисть	1,28	-0,072	0,02	0,256	0,64	0,86
Предплечье	7,19	0,134	0,0016	0,062	0,57	1,2
Плечо	1,79	0,309	-0,12	0,185	0,52	2,2
Голова	15,9	-0,046	0,094	-0,047	0,28	1,1
Верхняя часть туловища	3,78	-0,133	0,11	0,17	0,33	2,1
Средняя часть туловища	3,16	-0,219	0,241	-0,042	0,32	2,2
Нижняя часть туловища	-12,9	-0,16	0,19	0,26	0,54	2,1

Таблица 12г. Коэффициенты уравнений регрессии вида $y=B_0+B_1x_1$ для оценки некоторых нестандартных размеров по стандартным антропологическим признакам (Зациорский, Селуянов, 1978)

Характеристика	B_0	B_1	R	σ	Аргумент - стандартный антропометрический признак
Длина бедра от передней верхней подвздошной точки	12,97	0,410	0,760	1,64	Длина ноги
Биомеханическая длина плеча от оси вращения плечевого сустава до плечелучевой точки	4,64	0,586	0,413	2,3	Длина плеча
Длина головы от верхушечной точки до 7-го шейного позвонка в положении лежа	15,44	0,277	0,333	1,0	Верхний отрезок
Длина верхнего отдела туловища в положении лежа	17,13	0,421	0,253	2,1	Верхний отдел туловища
Длина среднего отдела туловища в положении лежа	7,1	0,69	0,524	1,97	Средний отдел туловища
Длина нижнего отдела туловища от пупковой точки до линии пересечения плоскостей, отделяющих бедра от туловища	7,16	0,371	0,392	2,2	Длина туловища

2.5. Вопросы для самоконтроля

1. Понятие идеальной массы тела, популяционные стандарты.
2. Росто-весовые таблицы, их достоинства и недостатки.

3. Индекс массы тела (ИМТ). Характеристика нормальных значений для людей разного пола и возраста в общей популяции. Связь ИМТ с заболеваемостью и смертностью.
4. Характеристика ИМТ у спортсменов различных специализаций.
5. Для чего используется индекс талия/бедра (ИТБ)? Характеристика нормальных значений ИТБ в общей популяции.
6. Достоинства и недостатки ИМТ и ИТБ.
7. Модели и методы определения состава тела человека, основные показатели состава тела.
8. Прямые и непрямые методы оценки состава тела. Инварианты состава тела. Понятие эталонного метода.
9. Двухкомпонентные модели состава тела. Область применения. Жировая и безжировая масса тела.
10. Трехкомпонентные модели и методы оценки состава тела. Область их применения. Основные предположения.
11. Общая вода организма. Основные составляющие, биологический смысл.
12. Четырехкомпонентные модели состава тела.
13. Клеточная масса тела, физиологическое значение данного показателя.
14. Пятиуровневая многокомпонентная модель состава тела. Понятие гибридной модели.
15. Какие кожно-жировые складки измеряются для оценки жировой массы тела?
16. Приведите формулы для определения количества подкожного жира. Какие складки для этого необходимо измерить на теле человека?
17. Какие формулы для оценки мышечной массы тела человека Вы знаете?

3. Биоимпедансный анализ

О способности тела человека проводить электрический ток было известно уже более ста лет назад. В зависимости от своего состава органы и ткани организма имеют разную электропроводность. На этих различиях основан метод биоимпедансного анализа, впервые описанный в 1880г. Вильямом Томсоном как потенциально безопасный, удобный и точный способ измерения электрической проводимости тела. Первые теоретические результаты по изучению электрических свойств биологических тканей были получены в первой половине 20 века. Тогда были установлены и частично объяснены механизмы зависимости проводимости и диэлектрической проницаемости биологических жидкостей и клеточных суспензий от частоты тока. С этими достижениями связаны, прежде всего, имена Г. Фрике, К. Коула, Х. Швана. В те же годы были сформулированы базовые теоретические принципы биоимпедансного анализа и сконструированы первые измерительные приборы для определения импеданса клеток и тканей организма. В середине 1930-х годов в России выпускался аналогичный прибор (СТ-1) для определения *коэффициента поляризации* живых тканей как отношения их электрического сопротивления на частоте 10 кГц и 1 МГц (Бурлакова и др., 1983). Одна из электрических схем такого устройства была предложена Б.Н. Тарусовым в описании изобретения к авторскому свидетельству “Способ определения регенеративной способности животных тканей” в 1941г. Практическое использование метода для определения состава тела началось в 1960-х годах во Франции в работах А. Томассета (Thomasset, 1962).

Важным свойством биологических тканей является зависимость их относительной диэлектрической проницаемости и удельной проводимости от частоты тока.⁸ В этом смысле говорят, что биологические ткани обладают

⁸ Относительная диэлектрическая проницаемость определяется как отношение ёмкости вещества C в расчёте на единицу объёма к электрической постоянной $\epsilon_0=8,85\times 10^{-12}$ Ф/м.

дисперсией (Шван, Фостер, 1980). На рис. 58 показан типичный график относительной диэлектрической проницаемости ϵ мышечной ткани как функция частоты f . Данная зависимость характеризуется наличием трёх различных механизмов релаксации (областей дисперсии), обозначенных на рис. 58 как α , β и γ . С точки зрения биоимпедансного анализа наиболее интересна область β -дисперсии, соответствующая частоте тока от 1 кГц до 100 МГц (низкочастотный радиодиапазон). Аналогичная зависимость от частоты имеет место и для удельного электрического сопротивления.

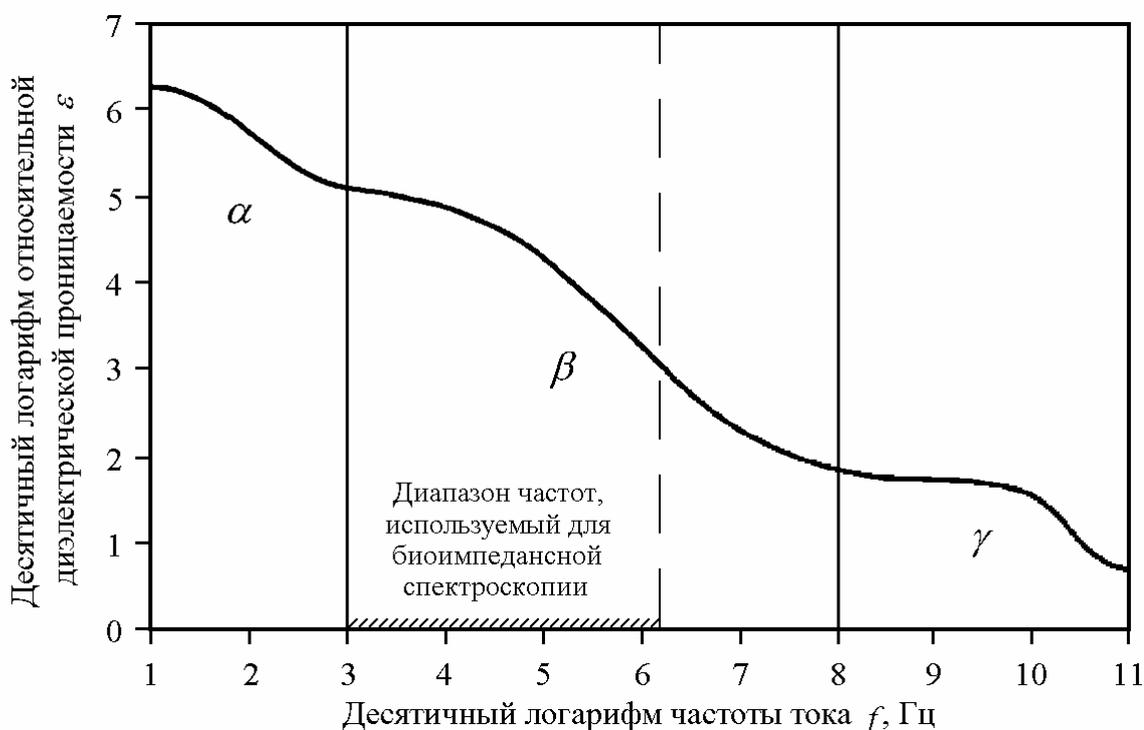


Рис. 58. Относительная диэлектрическая проницаемость мышечной ткани в зависимости от частоты тока (Шван, Фостер, 1980)

Основными проводниками электрического тока в организме являются ткани, обладающие высоким содержанием воды с растворёнными в ней электролитами (проводимость биологических тканей имеет ионный характер; в отличие от металлов, очищенная вода не проводит электрический ток). В

Удельная проводимость (σ) – это величина, обратная удельному электрическому сопротивлению ($\sigma=1/\rho$).

табл. 13 приведены типичные значения удельного электрического сопротивления биологических тканей для наиболее часто используемой в медицинской диагностике частоты тока 50 кГц. По сравнению с другими тканями организма жировые и костные ткани имеют низкую электропроводность. Различия удельного сопротивления объясняются, прежде всего, разным содержанием жидкости и электролитов в органах и тканях.

Таблица 13. Типичные значения удельного электрического сопротивления биологических тканей (Шван, Фостер, 1980; Уэбб, 1991)

Биологическая ткань	Удельное сопротивление, Ом·м	Биологическая ткань	Удельное сопротивление, Ом·м
Спинальномозговая жидкость	0,65	Печень	4,0
Кровь	1,5	Кожа	5,5
Нервно-мышечная ткань	1,6	Мозг (белое вещество)	6,8
Лёгкие без воздуха	2,0	Лёгкие при выдохе	7,0
Мозг (серое вещество)	2,8	Жировая ткань	15
Скелетные мышцы	3,0	Лёгкие при входе	23
		Костная ткань	150

Удельное сопротивление биологических тканей, определяемое для заданной частоты тока, может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов: почек и лёгких – при различном крове- и воздухонаполнении, мышечных тканей – при различной степени сокращения мышц, крови и лимфы – при изменении концентрации белков и электролитов, очагов повреждения (по сравнению с нормальной тканью) – в результате отёков или ишемий различной природы, опухолей или других причин (Уэбб, 1991). Это позволяет использовать биоимпедансный анализ в целях количественной диагностики различных заболеваний, а также для выявления изменений в тканях, вызываемых лекарственными, ортостатическими, физическими и другими нагрузками.

Названия и обозначения величин, непосредственно измеряемых при биоимпедансометрии, заимствованы из теории электрических цепей переменного тока. *Импедансом* (Z) называют полное электрическое сопротивление тканей. Эта величина имеет две компоненты: активное (R) и реактивное

сопротивление (X). *Активное*, или *омическое*, сопротивление характеризует способность тканей рассеивать электрический ток. *Реактивное* сопротивление характеризует смещение тока относительно напряжения, происходящее главным образом благодаря ёмкостным свойствам клеточных мембран, способных в течение некоторого промежутка времени хранить на своей поверхности электрический заряд. Этот процесс практически не связан с выделением мощности.

Для измерения электрической проводимости тела используют приборы, называемые *биоимпедансными анализаторами*. В зависимости от набора используемых частот переменного тока существующие анализаторы относят к *одночастотным* (измерения проводят на одной частоте, как правило, равной 50 кГц – в этом случае реактивная компонента импеданса тканей мышц близка к максимальной), *двухчастотным* или *многочастотным* (используется несколько частот переменного тока в широком диапазоне – от 1 кГц до 1,3 МГц). В последнем случае метод имеет название *биоимпедансной спектроскопии*. Соответствующий диапазон частоты тока показан в виде заштрихованной части оси абсцисс на рис. 58.

При увеличении частоты зондирующего тока полное электрическое сопротивление биологических тканей снижается. В рассматриваемом интервале частоты переменного тока это объясняется увеличением проницаемости клеточных мембран. В случае токов низкой частоты (50 кГц или менее) поток электричества в ткани проходит главным образом через межклеточную жидкость. При более высокой частоте тока (100 кГц и выше) потоки электричества через межклеточную жидкость и внутриклеточное пространство становятся сравнимыми по величине. Поэтому для оценки клеточной массы тела (составляющей примерно 3/4 от общей) в двухчастотном методе используют проводимость на более высокой частоте, а внеклеточной массы тела – на более низкой частоте. Помимо оценки объёма внутриклеточной жидкости и возможностей по изучению состава тела в многокомпонентных моделях, биоимпедансная спектроскопия позволяет исследовать ограничения одночас-

точного метода. В работе (Ward, Stroud, 2001) было показано, что точность метода может быть существенно повышена при использовании характеристической частоты, соответствующей максимуму реактивного сопротивления тканей. Оцененные в указанной работе значения характеристической частоты составили 29 и 37 кГц для мужчин и женщин, соответственно.

Таблица 14. Некоторые формулы для определения состава тела на основе биоимпедансометрии (по (Ellis, 2000), с добавлениями)

Возраст (лет)	Формула	Стандартная ошибка
<i>Общее содержание воды в организме, одночастотный метод (50 кГц)</i>		
<3	$0,67(\text{Рост}^2/Z) + 0,48$	0,36 л
5-18	$0,60(\text{Рост}^2/R) - 0,50$	1,69 л
19-65	$0,556(\text{Рост}^2/R) + 0,096 \text{ Вес} + 1,73$	1,75 л
20-73	$0,372(\text{Рост}^2/R) + 3,05 \text{ Пол} + 0,142 \text{ Вес} - 0,069 \text{ Возраст}$	1,61 л
<i>Безжировая масса тела, одночастотный метод (50 кГц)</i>		
7-15	$0,406(\text{Рост}^2/R) + 0,56 \text{ Пол} + 0,36 \text{ Вес} + 5,58 \text{ Рост} - 6,48$	1,68 кг
17-59	$0,363(\text{Рост}^2/R) + 0,214 \text{ Рост} + 0,133 \text{ Вес}$	3,06 кг
18-50	$0,756(\text{Рост}^2/R) + 0,11 \text{ Вес} + 0,107 X_C$	2,06 кг
22-94	$0,518(\text{Рост}^2/R) + 0,231 \text{ Вес} + 0,130 X_C + 4,229 \text{ Пол} - 4,104$	1,72 кг
<i>Масса скелетной мускулатуры, одночастотный метод (50 кГц)</i>		
18-86	$0,401(\text{Рост}^2/R) + 3,825 \text{ Пол} - 0,071 \text{ Возраст} + 5,102$	2,7 кг
<i>Общее содержание воды в организме, двухчастотный метод</i>		
19-64	$0,455(\text{Рост}^2/R_{100}) + 0,14 \text{ Вес} + 3,43$	2,64 л
19-52	$0,483(\text{Рост}^2/Z_{100}) + 8,4$	2,27 л
<i>Общее содержание внеклеточной жидкости в организме, двухчастотный метод</i>		
19-64	$0,284(\text{Рост}^2/R_5) + 0,112 \text{ Вес} - 6,115$	1,94 л
19-52	$0,229(\text{Рост}^2/Z_1) + 4,5$	1,14 л

Для измерения характеристик импеданса применяется стандартная схема наложения электродов (см. ниже). Обозначения: R – активное сопротивление (Ом), X_C – реактивное сопротивление (Ом), Z – полное сопротивление (Ом). Нижний числовой индекс при R и Z указывает на используемую частоту тока (кГц). Величина Рост имеет размерность [см], Вес – [кг], Возраст – [лет]. Величина Пол принимает значения, равные 1 для мужчин и 0 для женщин.

Чаще для определения на основе биоимпедансометрии состава тела (сюда входят объёмы водных секторов организма, жировая и безжировая, а также клеточная масса тела и масса скелетных мышц) используют формулы, в которых участвует активное сопротивление R (табл. 14). В основе таких формул – простое выражение для электрического сопротивления однородно-

го изотропного проводника постоянного сечения, поперечные размеры которого много меньше его длины:

$$R = \rho l / S = \rho l^2 / V,$$

где l – длина, S – площадь поперечного сечения, V – объём, а ρ – удельное сопротивление проводника. Трудность использования указанного соотношения состоит в том, что биологические ткани по своему составу неоднородны и обладают анизотропией. Например, известно, что проводимость мышц зависит от взаимной ориентации направления тока и мышечных волокон (Geddes, Baker, 1967). Кроме того, площадь поперечного сечения тела вдоль его длины сильно варьирует в зонах, наиболее интересных для анализа. Импеданс конечностей составляет в норме около 90-95% импеданса всего тела (типичные значения импеданса руки от запястья находятся в интервале 100-350 Ом, ноги от голеностопа – 100–300 Ом), а туловища, масса которого составляет около 50% массы тела, – лишь 5–10% от общего импеданса (20-60 Ом) (Organ et al., 1994; Bracco et al., 1996; Zhu et al., 1998). Для повышения точности метода некоторые формулы наряду с характеристиками импеданса и длины тела содержат и другие показатели, такие как пол, возраст и вес (табл.2), а также линейные размеры тела. Для оценки параметров регрессионных зависимостей при определении объёма водных секторов организма и клеточной массы тела в качестве эталона обычно используют методы разведения изотопов и измерение естественной радиоактивности всего тела, для определения жировой и безжировой массы тела – гидростатическую денситометрию, двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию и четырёхкомпонентные модели состава тела. Недавно для биоимпедансометрической оценки массы скелетной мускулатуры в качестве эталона были использованы результаты магнитно-резонансной томографии (Janssen et al., 2000). Характерной особенностью формул для определения состава тела на основе биоимпедансометрии является их *популяционная специфичность*. Это означает,

что, вообще говоря, эти формулы применимы лишь для популяций аналогичных тем, для которых они были построены.

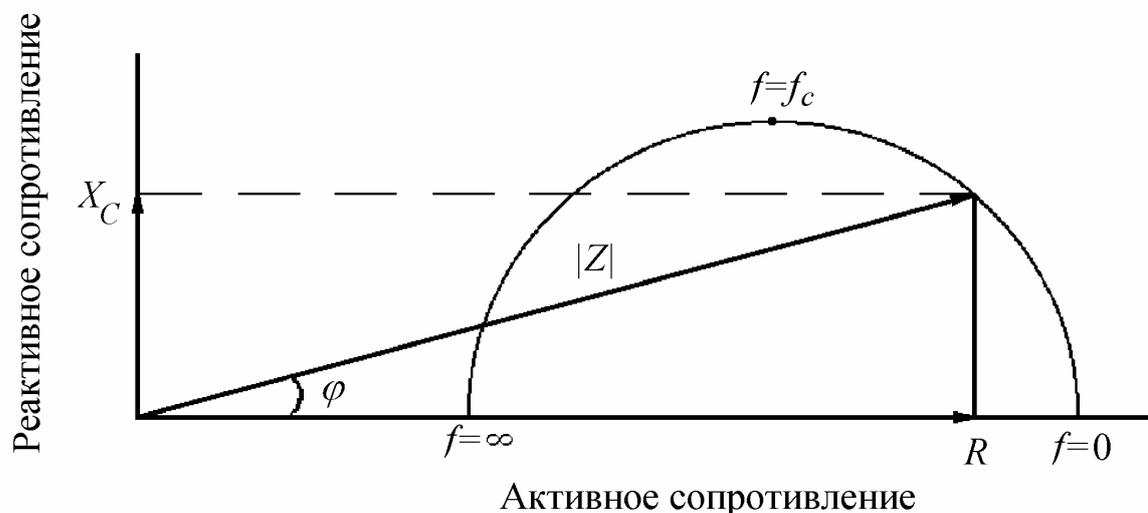


Рис 59. Фазовый угол

Важной характеристикой электрической проводимости тканей является отношение их ёмкостного и активного сопротивлений (рис. 59):

$$\mathbf{tg \varphi = X_C / R.}$$

Величина φ имеет название *фазового угла*. Она характеризует сдвиг фазы переменного тока относительно напряжения.⁹ Типичные значения X_C и R при измерении импеданса всего тела составляют 20–80 Ом и 200–800 Ом, соответственно. Значения φ при частоте тока 50 кГц составляют в норме $7,6 \pm 1,0$ и $6,9 \pm 1,3^\circ$ для мужчин и женщин, соответственно (Liedtke, 1997; Selberg, Selberg, 2002). При более высокой частоте тока эта величина может меняться в широких пределах (Ellis, 2000). Пониженные значения X_C связывают с нарушением проницаемости клеточных мембран и увеличением доли разрушенных клеток в организме. И наоборот, считается, что повышенные значе-

⁹ Полуокружность на рис. 59 (“график Коула-Коула”) показывает теоретическую зависимость между реактивным и активным сопротивлением тканей при изменении частоты тока f от 0 до ∞ (подробнее см. (Шван, Фостер, 1980)). Верхняя точка полуокружности соответствует характеристической частоте.

ния емкостного сопротивления отражают более высокое функциональное состояние клеточных мембран и, следовательно, самих клеток. На основании этого полагают, что чем больше величина φ , тем лучше состояние здоровья организма. В профессиональном спорте и спортивно-оздоровительной медицине повышенные значения X_C трактуются как свидетельство тренированности (Lukaski et al., 1990). У лиц обоих полов в общей популяции установлена значимая обратная корреляция величин фазового угла отдельно для ног, туловища и всего тела с процентным содержанием жира в массе тела, а у лиц мужского пола – прямая корреляция с процентным содержанием безжировой массы тела, определяемым на основе гидростатической денситометрии (Baumgartner et al., 1988). Изучение величины фазового угла в клинической медицине и научных исследованиях показало, что:

1) существует высокая корреляция между величиной φ и весом тела, а также длиной окружности бицепсов у детей с нормальным питанием ($r=0,82$ и $0,90$ соответственно); дети с пониженным питанием имели более низкие значения φ по сравнению с указанной группой (Nagano et al., 2000);

2) величина φ снижена у пациентов с почечной недостаточностью ($\varphi < 5^\circ$), что объясняют увеличением объёма межклеточной, и одновременным снижением объёма внутриклеточной жидкости (цит. по: Ellis, 2000).

3) наблюдается высокая корреляция между величиной φ и временем дожития у больных циррозом печени (Selberg, Selberg, 2002).

4) в отличие от массы тела и индекса Кетле, на ранней стадии ВИЧ-инфекции происходят выраженные изменения величины φ и клеточной массы тела – статистически значимое снижение по сравнению с нормой (Ott et al., 1993). Величина φ является важным прогностическим маркером развития ВИЧ-инфекции и времени дожития при СПИДе (Schwenk et al., 2000);

5) у ВИЧ-инфицированных больных туберкулёзом по сравнению с больными туберкулёзом без ВИЧ-инфекции величина φ и клеточная масса тела статистически значимо снижены (Shah et al., 2001). Мониторинг измене-

ний состава тела способствует улучшению контроля состояния и более адекватному назначению лечения таким пациентам.

3.1. Оборудование

Оборудование, необходимое для биоимпедансных исследований, включает

1. биоимпедансный анализатор (рис. 60), подключенный к персональному компьютеру с установленным на нем специальным программным обеспечением;
2. кушетку шириной не менее 85–90 см (для обеспечения возможности обследования тучных пациентов);
3. ростомер или антропометр;
4. весы с диапазоном измерений до 150–180 кг и ценой деления 0,1 кг; мерную ленту для измерения обхватов талии и бедер.

В настоящее время приборы для оценки состава тела на основе биоимпедансного анализа производятся во многих странах мира, в том числе и в России. По нашей оценке, в мире выпускается свыше сотни различных моделей биоимпедансных анализаторов общим числом порядка нескольких сотен тысяч. Большинство из них – это одночастотные анализаторы, применяемые в спортивно-оздоровительной медицине для мониторинга жировой и мышечной массы тела. Двух- и многочастотные биоимпедансные анализаторы, как правило, более дорогие и применяются в клинической медицине и научных исследованиях. Разные устройства отличаются друг от друга по используемой частоте (или набору частот) переменного тока, измеряемым величинам (активное, реактивное или полное сопротивление, фазовый угол), схемам наложения электродов, а также формулам для определения состава тела. Как и в случае антропометрии, отсутствие единой стандартизации оборудования и способов измерений затрудняет сопоставление результатов биоимпедансометрии между собой и с другими методами определения состава тела. Для оценки относительного содержания жира в организме в программное обеспечение первых приборов были встроены линейные регрессионные формулы,

построенные на основе сопоставления результатов измерений импеданса тела с данными гидростатической денситометрии в общей популяции. Эти формулы оказались относительно точными у людей с нормальным питанием, но в случае избыточного (недостаточного) веса тела давали заниженную (завышенную) оценку содержания жира в организме, соответственно. В сравнении с методом гидростатического взвешивания стандартная ошибка относительного содержания жира в массе тела (%ЖМТ) для общей популяции составила от 5% до 6,4% (Segal et al., 1985; Jackson et al., 1988). В дальнейшем с учётом специфики обследуемых популяций и антропометрических данных индивидов стандартную ошибку определения %ЖМТ удалось снизить до 2,5-3%. В настоящее время программное обеспечение большинства биоимпедансных анализаторов позволяет учесть половые, возрастные и этнические особенности, а также размеры тела и уровень физической подготовки обследуемых.

Некоторые разновидности биоимпедансных анализаторов выполнены в виде напольных весов, измеряющих импеданс ног и нижней части туловища. Профессиональные модели подключаются к ПК и позволяют оценивать количество жировой и скелетно-мышечной ткани, количество воды в организме, рекомендуемый диапазон содержания жира и другие показатели. Более простые и недорогие модели могут быть использованы для индивидуального самоконтроля в домашних условиях. Фирмы Omron (Япония) и American Weights and Measures (США) производят ручные биоимпедансные анализаторы. В этом случае информация снимается с плечевого пояса. В целом, применение таких устройств резко снижает возможности биоимпедансометрии в отношении изучения регионального и локального состава тела. Кроме того, использование характеристик электрического сопротивления отдельных регионов для оценки состава тела в целом, как правило, приводит к увеличению погрешности метода. В одной из соответствующих работ стандартная ошибка определения %ЖМТ с использованием ручного анализатора HBF-306 (Omron) по сравнению с четырёхкомпонентной моделью составила 4,5% (Deurenberg, Deurenberg-Yap, 2002).



Рис. 60. Биоимпедансный анализатор ABC-01 (НТЦ Медасс, Россия)

Наибольшую точность определения состава тела на основе биоимпедансометрии обеспечивают устройства для измерения импеданса всего тела по стандартной схеме с наложением электродов на голень и запястье. Производителем таких устройств и соответствующего программного обеспечения в России является НТЦ “Медасс” (Москва). На рис. 60 показан биоимпедансный анализатор ABC-01 (ABC – сокращение от “анализатор водных секторов”). Прибор ориентирован на использование в стационарных условиях и применяется в реаниматологии, интенсивной терапии, нефрологии, эндокринологии и других областях медицины. Принцип его работы основан на использовании зависимости баланса вне- и внутриклеточной жидкости от соотношения электрического сопротивления тканей тела на низкой и высокой частоте (25 и 500 кГц). Для углубленных исследований используется набор частот 20, 50, 100, 200 и 500 кГц. Электродная система анализатора может состоять из 4, 8 или 12 электродов для интегрального (классического), 5-

регионного (торс, руки, ноги) и 9-ти регионного обследования (торс, плечи, бёдра, предплечья, голени).

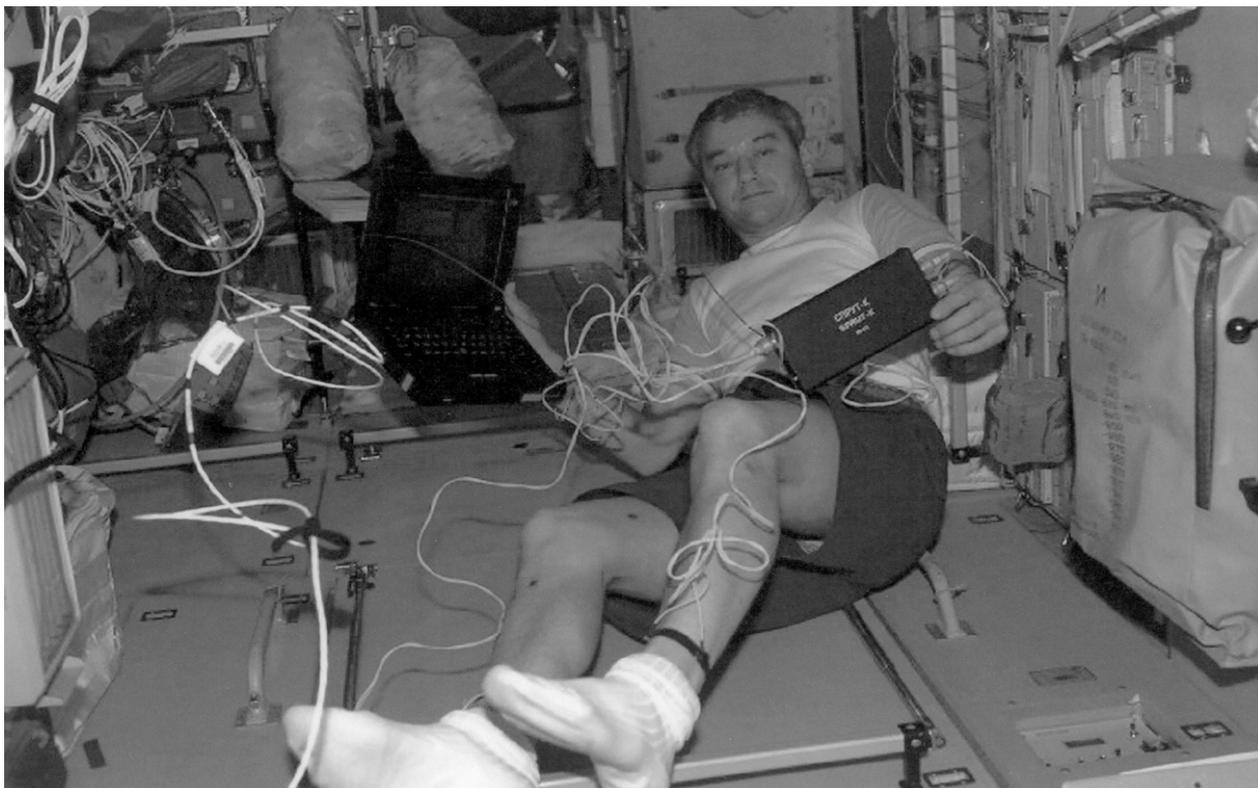


Рис. 61. Биоимпедансный анализатор ``Спрут-К'' в момент обследования космонавта на Международной космической станции

Анализатор может использоваться в настольном или подвесном положении (с креплением к операционному столу или реанимационной кровати). Обработка и представление результатов измерений осуществляются персональной ЭВМ с визуализацией параметров состава тела, в том числе водного баланса в виде чисел (экспресс-оценка), временных трендов (мониторирование), или графиков, построенных на основе множественных экспресс-оценок. Длительность цикла измерений по данным 144 коммутаций и графического воспроизведения характеристик организма может составлять 1,2, 2,4 или 4,5 с. Анализ параметров производится в натуральных величинах (литры), процентах к должным величинам (на основе таблиц Альберта), а также в процентах к весу тела пациента и к безжировой (тощей) массе тела. Программа позволяет пользоваться как импедансной оценкой тощей массы, так и кали-

перометрической, определяемой по четырём или пяти кожным складкам. По запросу врача на экран могут быть вызваны методические материалы, помогающие правильно интерпретировать результаты мониторинга. Конструкция анализатора защищена патентами 1991, 1996 и 2003 г.

На рис. 61 показан портативный анализатор, разработанный НТЦ “Медасс” совместно с Институтом медико-биологических проблем, который используется в рамках программы медико-биологических исследований на Международной космической станции для мониторинга изменений состава тела космонавтов в условиях невесомости.

3.2. Методика обследования

(по материалам конференции Национального института здоровья США по биоимпедансному анализу, 1994 г.)

3.2.1. Предварительный этап

- а) за неделю до обследования следует отказаться от приёма диуретиков;
- б) за двое суток – от употребления алкоголя;
- в) за 4-6 ч – воздержаться от физических нагрузок, а также от приёма воды и пищи;
- г) за 30 минут до начала обследования опорожниться;
- д) необходимо также воздержаться от употребления кофеина и других веществ, способствующих отклонению состояния водного обмена от нормы.
- е) в холодное и жаркое время года пациенту перед процедурой измерений необходимо пробыть в помещении для обследования достаточное время для температурной адаптации;
- ж) нежелательно обследование пациентов при наличии воспалительных заболеваний, в периоды менструаций и у пациентов с имплантированными кардиостимуляторами.

3.2.2. Процедура обследования

1) процедура обследования начинается с антропометрических измерений. Определяют длину, массу тела, обхваты талии и бедер. Затем в компьютерной программе заводится учетная запись (регистрация) пациента с указа-

нием ФИО, пола, даты рождения и длины тела. В карточку текущего обследования вносятся сведения о массе тела и обхватах талии и бедер.

2) *Положение тела.* Пациент ложится на кушетку в положении лежа на спине (рис. 62) правой стороной тела к биоимпедансному анализатору. Правая рука освобождается от металлических предметов (часов, браслетов). Металлические предметы на шее пациента сдвигаются к подбородку.



Рис. 62. Положение тела пациента при обследовании

Кушетку устанавливают так, чтобы электродный кабель прибора без натяжения дотягивался до мест наложения электродов на голеностопе и запястье, а расстояние между боковой частью кушетки и окружающими предметами составляло не менее 10 см. Во время обследования температура в помещении должна быть 22–25°C.

Одно из основных условий успешности обследования – надёжная изоляция тела субъекта от окружающих электропроводящих предметов. К мо-

менту начала обследования индивид должен находиться в положении лёжа на спине на непроводящей горизонтальной поверхности в течение 7–10 мин.

Одежда пациента должна быть сухой и свободной, не изменяющей конфигурации приповерхностных тканей. У тучных пациентов особое внимание следует уделить обеспечению отсутствия контакта между внутренними поверхностями бедер до паха и между внутренними поверхностями рук и торсом до подмышечных впадин.

3) Биоимпедансный анализатор подсоединяют к конечностям тела при помощи специальных электродов. Перед этим соответствующие участки кожи необходимо протереть спиртом, а электроды покрыть тонким слоем геля-электролита, или пользоваться одноразовыми клеящимися электродами.

4) Электроды с контактной площадкой 22×24 мм необходимо наложить точно в соответствии с приводимой ниже инструкцией.

На рис. 62 и 63 показана стандартная четырёхполярная схема наложения электродов – по два на правой голени и на запястье.



Рис. 63. Расположение электродов на руках и ногах

На руке: середина первого электрода крепится над сочленением костей предплечья и кисти, а другой располагается на 3–4 см дистальнее; на ноге – один серединой над сочленением костей голени и стопы, другой дистальнее на 3–5 см. Зажимы электродного кабеля крепятся к свободным от проводя-

щего геля концам электродов, красные – к дистальным, черные – к проксимальным электродам. Дистальные электроды служат для подключения к пациенту цепи пропускания зондирующего тока, проксимальные – для подключения измерительной цепи анализатора.

Измерение выполняется в течение 20–40 с и считается завершенным, если в последние 4–5 с значения величин активного и реактивного сопротивлений менялись не более чем на 2 единицы последней значащей цифры. Если это условие не выполняется, то необходимо проверить крепление электродов на коже пациента или предупредить его о необходимости сохранения неподвижного положения во время измерительной процедуры.

5) Положение электродов имеет критическое значение, смещение на 1 см даёт ошибку измерения импеданса, достигающую 2%. На точность измерений могут влиять такие биологические факторы, как наличие или отсутствие заболеваний и периоды менструального цикла у женщин. Импеданс тела варьирует при изменении его температуры. Например, для тканей мышц температурный коэффициент импеданса составляет около $2\%C^{-1}$ (Шван, Фостер, 1980; Уэбб, 1991).

6) В ходе измерений руки и ноги обследуемого должны быть разведены в стороны под углом 30–45°; следует сохранять неподвижное положение.

3.3. Безопасность метода

В ходе многолетнего практического применения биоимпедансометрии нежелательных последствий для организма человека не отмечалось. Однако в целом теоретическому исследованию безопасности воздействия на организм переменного тока малой мощности на разных частотах уделялось мало внимания. В одной из работ имеются сведения, что болевой порог воздействия электрического тока на организм на типичной для одночастотной биоимпедансометрии частоте 50 кГц составляет около 40 мА (Geddes, Baker, 1975), что в 50 и более раз выше силы тока, обычно используемой в биоимпеданс-

ных анализаторах (цит. по: Liedtke, 1997).¹⁰ Согласно принятому в большинстве стран стандарту электробезопасности, зондирующий ток не должен превышать 2 мА.

3.4. Региональная и локальная биоимпедансометрия

Возможности биоимпедансометрии далеко не исчерпываются оценкой интегральных (относящихся ко всему организму) параметров. В диагностике многих заболеваний значительный интерес представляют параметры состава тканей некоторых регионов (конечности, туловище, грудные железы) и локальных участков тканей, непосредственно прилегающих к коже и слизистым оболочкам. В работах Оллмара и Никандер (Королинский университет, Швеция) приводятся результаты применения метода на коже, слизистой рта, носа, желудка, кишечника, влагалища (Nicander, 1998). Получены верифицированные гистологическими методами результаты реакций на дегидратацию кожи моющими средствами, результаты оценки содержания подкожной жировой ткани, контактные аллергические реакции на коже, установлены характеристики базального клеточного рака и контактного дерматита. Метод биоимпедансной спектроскопии с успехом применялся для оценки выраженности повреждений эпителия мочевого пузыря (Keshtkar et al., 2001). Полученные характеристики импеданса тканей эпителия при карциноме значительно отличались от данных, соответствующих воспалению. На основе сопоставления данных биоимпедансометрии и магнитно-резонансной томографии в работе (Miyatani et al., 2001) было показано, что биоимпедансный анализ можно использовать для определения объёма мышц отдельных сегментов конечностей и изучения взаимосвязей между размерами мышц и их силовыми возможностями. В указанной работе коэффициент корреляции между индексом импеданса (т.е. величиной L^2/Z , где L – длина исследуемого участка конечности, а Z – импеданс этого участка) и объёмом мышц для разных конечностей

¹⁰ При частоте тока 10-100кГц преобладающим биологическим механизмом электрочувствительности тканей является их нагрев (Уэбб, 1991).

составил от 0,90 до 0,97. Имеются данные, что биоимпедансометрия даёт более точную оценку площади поперечного сечения и объёма мышц конечностей по сравнению с антропометрией (Fuller et al., 1999).

Региональные биоимпедансные исследования осуществляются как прямым измерением (каждый исследуемый участок тела окружается парой потенциальных электродов, а пара токовых электродов находится с обеих сторон вне участка), так и косвенным. При косвенных измерениях пары электродов (токовый с потенциальным) размещаются на голеностопах, запястьях, голове, грудных железах. Зондирующий ток коммутируется между парами токовых электродов, а варианты коммутации потенциальных электродов могут не совпадать с вариантами коммутации токовых электродов. На рис. 64 показаны наиболее часто применяемые схемы коммутации, используемые как для определения интегральных параметров организма, так и для отдельного исследования пяти регионов – ног, рук и туловища.

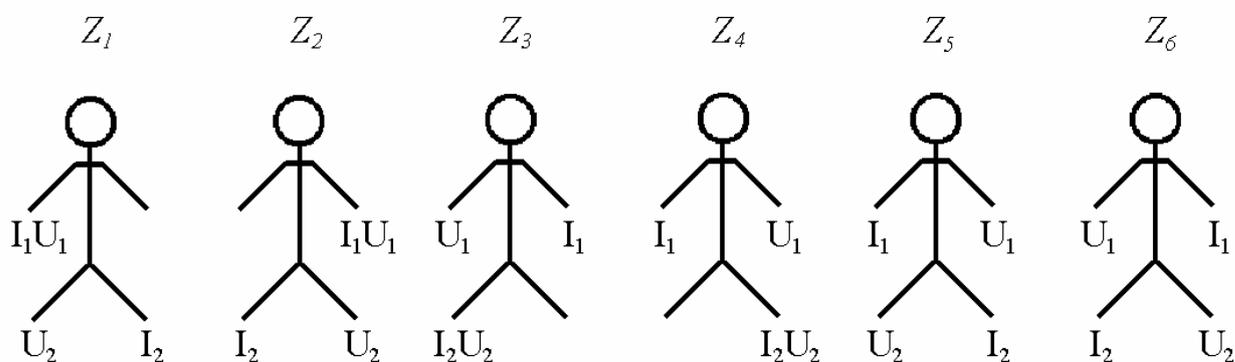


Рис. 64. Схема $\chi\lambda$ -Медасс метода. U_1, U_2 – потенциальные электроды, I_1, I_2 – токовые электроды

Четыре первые схемы коммутации называют λ -образными, две последние – χ -образными. При λ -образной схеме получаем сумму импедансов одной из конечностей и туловища, при χ -образной – туловища. В соответствии с этим имеем: $Z_{\text{лр}}=Z_1-Z_5$; $Z_{\text{пр}}=Z_2-Z_6$; $Z_{\text{лн}}=Z_3-Z_6$; $Z_{\text{пн}}=Z_4-Z_5$; $Z_{\text{т}}=(Z_5+Z_6)/2$. Таким образом, с четырёх пар электродов снимается информация об импедансе

и его составляющих на интересующих частотах в пяти регионах, а общий импеданс и его составляющие определяются по региональным показателям.

Комбинируя расположение электродов, можно вычлениить участки биологического объекта и соответствующие им оценки импеданса вплоть до картирования с разрешением порядка 1–2 см по продольным осям конечностей.

Измеряя импедансные параметры произвольной области (участка) организма, можно получить оценку асимметрии с симметрично расположенным участком тела. Кроме того, можно изучать динамику отёков, осуществляя мониторинг процесса или проводя последовательные эпизодические измерения. О высокой чувствительности результатов измерений при исследовании отёчных явлений свидетельствует то, что значение асимметрии импеданса рук при краш-синдроме достигает 70%, молочных желёз при воспалительных процессах – до 60% (пары электродов в виде неполных колец располагали вокруг сосков, две другие пары – классическим образом на голеностопе). С учётом всех известных погрешностей, разрешение метода – порядка 10–30 градаций состояния – позволяет получать зависимости от времени в процессе лечения как асимметрии относительно условно-здорового участка тела, так и импеданса самого условно-здорового участка за весь период лечения.

Локальная биоимпедансная спектроскопия позволяет оценивать состав и состояние малых участков биологических тканей (размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров по поверхности и в глубину). Этот метод неинвазивный, не приводит к повреждению структуры тканей и является потенциальной альтернативой биохимического и морфологического анализа биоптатов. Ограничение метода связано с возможностью получения данных лишь с приповерхностных участков тела (исследование кожи и подкожной клетчатки, слизистых оболочек и трубчатых органов). Без сомнения, оно компенсируется повышенной комфортностью исследования для пациента, а также простотой и удобством процедуры для врача. Существуют вари-

анты обследования с использованием зондов, проникающих вглубь тканей для анализа прилегающих к зонду участков.

3.5. Анализ источников погрешностей метода

3.5.1. Оценка погрешностей, возникающих при расчете показателей состава тела вследствие ошибок измерения длины, массы тела и активного сопротивления

Общая вода организма в литрах, как правило, рассчитывается по формуле вида

$$\text{ОВО} = K_1 \times \text{Рост}^2 / R50 + K_2 \times \text{Вес} + K_3,$$

где рост измерен в сантиметрах; масса тела – в килограммах; активное сопротивление на частоте 50 кГц R50 – в Омах; коэффициент K_1 имеет величину порядка 0,4; коэффициент K_2 – порядка 0,12; постоянная K_3 – порядка 8 л. Используя формулу для погрешности при косвенных измерениях

$$\Delta y = \sqrt{\sum_i \left| \frac{\partial y}{\partial x_i} \right|^2 \Delta x_i^2}$$

где Δx_i – погрешность измерения i -той переменной, Δy – погрешность результата косвенных измерений, оценим влияние непосредственно измеряемых параметров на погрешность ОВО. Возьмем для примера Рост = 170 см, Вес = 70 кг, R50 = 400 Ом. Такие параметры характерны для людей с нормальной массой тела. При этом погрешность измерения роста, равная 1 см, даст погрешность ОВО 0,34 л; погрешность измерения веса, равная 0,5 кг даст погрешность ОВО порядка 0,06 л; погрешность измерения активного сопротивления R50, равная 2 Ома (0,5% от измеренного значения) даст погрешность ОВО около 0,18 л. Результирующая погрешность ОВО составит примерно 0,4 л.

Безжировая масса тела (БМТ) может быть рассчитана по формуле

$$\text{БМТ} = \text{ОВО} / 0,73.$$

При этом вклады погрешностей непосредственных измерений в погрешность БМТ составят для роста – 0,47 кг; для веса – 0,08 кг; для активного сопротивления – 0,25 кг. Результирующая погрешность БМТ будет равна примерно 0,53 кг.

Жировая масса тела оценивается как разность между массой тела и безжировой массой:

$$\text{ЖМТ} = \text{МТ} - \text{БМТ}.$$

Для этого параметра вклады погрешностей роста и активного сопротивления будут такие же, как для БМТ, а вклад погрешности измерения веса увеличится до 0,42 кг. Суммарная погрешность оценки ЖМТ составит около 0,7 кг.

Изменение погрешностей измерения длины, массы тела и активного сопротивления приводит к пропорциональному изменению их вкладов в суммарные погрешности вычисляемых параметров.

3.5.2. Оценка погрешности, связанной с нарушением требований к процедуре измерений

С целью оценки влияния каждого из перечисленных факторов были проведены экспериментальные исследования на группе из пяти добровольцев (3 мужчины и 2 женщины) и привлечены данные пятилетнего опыта эксплуатации методики БИА в 150 организациях, как лечебных, так и физкультурно-оздоровительных. Ниже приводятся средние значения смещения оценки, округленные в сторону увеличения.

Исследования повторяемости результатов при максимальном соблюдении требований процедуры проводилось по следующей методике: все участники эксперимента проходили пятикратно процедуру измерений с интервалом 10-12 минут, во время которого

- а) сидели в произвольной позе;
- б) стояли неподвижно;
- в) ходили в свободном темпе.

Результат: максимальные относительные величины разброса оцениваемых параметров составили по БМТ – 1%, по ЖМТ – 2%.

Смещение потенциального электрода на руке в проксимальном направлении дало величину вносимой погрешности по БМТ – 0,9%/см, по ЖМТ – 4,6%/см; *на ноге*: по БМТ – 1,0%/см, по ЖМТ – 6,0%/см.

Исследования погрешности при изменении угла разворота руки относительно туловища в положении лежа на спине показали, что в диапазоне 0–45° величины погрешностей не выходили из интервала общей повторяемости, при достижении угла разворота 90° смещение составило: по БМТ – 1,5% по ЖМТ – 5,7%, при достижении 180° по БМТ – 2,0%, по ЖМТ – 9,5%.

Практическое применение метода показало, что наиболее приемлемым компромиссом между требованиями процедуры исследований и возможностями их выполнения с использованием стандартных кушеток следует признать позу с отведением правой руки на 30–45° и расположение предплечья параллельно краю кушетки.

Результаты исследования влияния фактора позы при наиболее существенных нарушениях процедуры исследований на смещение оценок состава тела приведены в табл. 15.

Таблица 15. Изменения оценок состава тела методом биоимпедансного анализа при смене положения тела

Изменение позы	%БМТ	%ЖМТ
Лежа на левом боку	0,5%	-2,9%
Сидя прямо	1,1%	-6,7%
Сидя согнувшись	1,7%	-10,5%
Стоя в свободной позе	1,1%	-6,7%
Стоя с отведенными руками	1,4%	-8,6%

Наличие металлической цепочки, провисающей до мечевидного отростка приводит к весьма незначительному смещению оценок: по БМТ на 0,15%, по ЖМТ на 0,5%.

Наличие металлического браслета на предплечье исследуемой руки дало смещение на 0,5% по БМТ и на 2,7% по ЖМТ.

Имитация пропотевания одежды (влажная салфетка в подмышечной области) приводила к смещению оценок по БМТ до 1,5%, по ЖМТ до 6,5%.

Касание стены помещения или металлической поверхности каркаса кушетки левой рукой приводило к смещению оценок по БМТ до 0,7%, а по ЖМТ до 4,5%

Тугое перепоясывание в талии дало смещение оценок по БМТ – 0,4%, по ЖМТ – 2,9%.

Через 30 минут после плотного обеда наблюдалось смещение оценок по БМТ – 2,3%, по ЖМТ – 15,3%.

Интенсивная физическая нагрузка (измерения проводились через 5 минут после серии упражнений из 30 приседаний и 20 отжиманий от пола) приводила к смещению оценок по БМТ на 2%, по ЖМТ на 10%.

Сравнение результатов измерений непосредственно после пребывания вне помещения при температуре –25°С и после 20 минут пребывания в помещении показало сдвиг оценок по БМТ +3%, по ЖМТ – 7%.

Использование для биоимпедансных измерений одноразовых кардиографических электродов и многоразовых (металлических, из проводящей резины и пластмассы) электродов с площадью поверхности от 1,5 до 5 см² не приводило к смещению оценок выше границ повторяемости.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что отклонения результатов оценки БМТ и ЖМТ по методике одночастотного биоимпедансного анализа состава тела при соблюдении рекомендуемых требований процедуры составляют не более 1% по БМТ и не более 2% по ЖМТ.

Наиболее существенными факторами, влияющими на смещение оценок, следует признать точность установки потенциальных электродов на запястье и голеностопе. Исследованные в данной работе факторы смещения оценок состава тела можно классифицировать в соответствии с тремя источниками:

- а) внешние – ошибки при внесении антропометрических данных;
- б) связанные с нарушениями режима прохождения зондирующего тока – при неточной установке электродов, изменении угла разворота рук, нали-

чии металлических предметов, касаниях проводящих поверхностей, пропотевании одежды;

в) зависящие от перераспределения жидкости между регионами организма – несоблюдение позы и теплового режима, при недостаточном интервале времени после физических нагрузок, приема пищи, при изменениях конфигурации частей тела, например, при тугом перепоясывании.

При условии выполнения изложенных правил биоимпедансометрия обеспечивает достаточно точные и надёжные результаты определения состава тела. Разность двух последовательных оценок процентного содержания жира в организме по методу биоимпедансометрии, выполненных у одного и того же пациента одним и тем же специалистом, не должна превышать 0,5%, что свидетельствует о высокой воспроизводимости результатов измерений. Как следует из табл. 14, в случае обследования пациентов с выраженным истощением или ожирением метод биоэлектрического импеданса имеет несколько большую методическую погрешность при той же случайной погрешности, но современные программные продукты, используемые в целях долговременного динамического контроля состава тела, компенсируют методическую погрешность за счёт дополнительных антропометрических данных. Проведенные совместные исследования с Институтом питания РАМН показали, что верификация оценок состава тела, полученных с использованием анализатора оценки баланса водных секторов организма АВС-01 «Медасс», программа АВС 01-036, результатами рентгеновской денситометрии, выполненной на денситометре Prodigy GE LUNAR Corporation (США), обнаружили высокую корреляцию оценок жировой массы ($r = 0,94$). Отсюда следует, что биоимпедансный анализ состава тела на основе алгоритмов, заложенных в программе АВС-036 анализатора АВС-01 «Медасс», позволяет с успехом заменять более дорогостоящие и сопряженные с лучевой нагрузкой методы рентгеновской денситометрии.

3.6. Интерпретация результатов обследования

3.6.1. Экспресс-анализ

Выходные протоколы методики содержат оценки следующих параметров: основного обмена (ОО), индекса массы тела (ИМТ), жировой массы тела (ЖМТ), безжировой массы тела (БМТ), активной клеточной массы (массы мышц и внутренних органов) (АКМ), процентного содержания активной клеточной массы в безжировой массе (%АКМ), объема воды в организме (ОВО), индекса талия–бедра (ИТБ), а также процентного содержания жира в организме (%ЖМТ). На рис. 65 показан первичный протокол биоимпедансного обследования.

Оценки перечисленных параметров показаны на горизонтальных шкалах, разделенных на промежутки, границами которых являются значения верхней и нижней границ нормы соответствующего параметра. Расположение значка левее нижней границы нормы соответствует пониженным значениям, правее – повышенным.

Величина избытка жировой массы позволяет оценить примерные сроки коррекции данного нарушения (по литературным данным, адекватная диетотерапия позволяет снижать жировую массу в среднем на 500 г в неделю).

3.6.2. Динамические наблюдения

Анализ динамических наблюдений позволяет проследить ход лечебного процесса, оценить эффективность назначенной терапии, выявить ошибки пациента в соблюдении рекомендаций и скорректировать лечение.

3.6.2.1. По текущему протоколу

Текущий протокол (рис. 66) генерируется программой, начиная со второго обследования, и содержит таблицу антропометрических параметров пациента, гистограмму и таблицу относительных изменений компонент состава тела, таблицу оценок компонент состава тела для первого и шести последних измерений с численными значениями соответствующих популяционных норм.



ГУ НИИ питания РАМН

Отдел клинико-инструментальных методов исследования

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Протокол, пациент: Дюкова Светлана



Базовые данные		570 Ом / 72 Ом	
Дата	18.07.2002 18:35:29	Индекс массы тела	29 кг/м ²
Возраст	51 год	Окружность талии	93 см
Рост	164 см	Окружность бедер	112 см
Вес	78,0 кг	Основной обмен	1499 ккал
Состав тела			
Индекс массы тела			
Жировая масса (кг)			
Тощая масса (кг)			
Активная клеточная масса			
Доля активной клеточной массы (%)			
Общая жидкость (кг)			
Соотношение талии / бедра			
Классификация по проценту жировой массы			
	Истощение	Фитнес-стандарт	Норма
			Наибольший вес
			Ожирение

12.12.2005 14:23:01

Врач: _____

Рис. 65. Первичный протокол биоимпедансных исследований



ГУ НИИ питания РАМН

Отдел клинко-инструментальных методов исследования

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Протокол № 16, пациент: Донцова Светлана

(Возраст: 51 год, рост: 164 см)



Текущие результаты								
Дата	15.01.2002	26.03.2002	01.04.2002	09.04.2002	23.04.2002	04.06.2002	18.07.2002	
Исходные значения	16.58:59	19.23:48	12.04:41	19.59:16	18.12:45	17.46:50	18.35:29	
R50 (Ом)	554	569	591	565	556	572	570	
Xc50 (Ом)	55	76	95	63	68	74	72	
Измеренные значения								
	95.0	80.5	80.0	80.0	78.0	79.0	78.0	
Индекс массы тела	35.3	29.9	29.7	29.7	29.0	29.4	29.0	18.5 - 24.9
Окружность талии (см)	0.0	91.0	91.0	93.0	93.0	94.0	93.0	
Окружность бедер (см)	0.0	117.0	111.0	112.0	108.0	110.0	112.0	
Индекс талии/бедра	0	0.78	0.82	0.83	0.86	0.85	0.83	0.60 - 0.85
Тощая масса (кг)	50.4	47.6	46.6	47.7	47.8	47.3	47.2	34.6 - 54.6
Тощая масса (%)	53.0	59.1	58.3	59.6	61.3	59.8	60.5	
Жировая масса (кг)	44.6	32.9	33.4	32.3	30.2	31.7	30.8	9.8 - 16.4
Жировая масса (%)	47.0	40.9	41.7	40.4	38.7	40.2	39.5	25 - 30
Общая жидкость (кг)	36.9	34.8	34.1	34.9	35.0	34.6	34.6	25.4 - 40.0
Атлетическая масса (кг)	26.2	29.0	30.9	26.5	27.9	28.3	28.0	18.1 - 28.6
Доля АКМ (%)	52.1	60.9	66.4	55.5	58.3	59.9	59.2	50 - 56
Изменения по сравнению с первым измерением								
Вес (кг)		-14.5	-15.0	-15.0	-17.0	-16.0	-17.0	
Индекс массы тела		-5.4	-5.6	-5.6	-6.3	-5.9	-6.3	
Окружность талии (см)		91.0	91.0	93.0	93.0	94.0	93.0	
Окружность бедер (см)		117.0	111.0	112.0	108.0	110.0	112.0	
Индекс талии/бедра		0.78	0.82	0.83	0.86	0.85	0.83	
Тощая масса (кг)		-2.8	-3.7	-2.6	-2.5	-3.1	-3.2	
Тощая масса (%)		6.1	5.3	6.6	8.3	6.8	7.5	
Жировая масса (кг)		-11.7	-11.3	-12.4	-14.5	-12.9	-13.8	
Жировая масса (%)		-6.1	-5.3	-6.6	-8.3	-6.8	-7.5	
Общая жидкость (кг)		⚡ -2.0	⚡ -2.7	⚡ -1.9	-1.9	-2.3	-2.3	
Атлетическая масса (кг)		2.8	4.7	⚡ 0.3	1.6	2.1	1.7	
Доля АКМ (%)		8.8	14.3	3.5	6.2	7.9	7.2	

12 Декабрь 2005 г. 14:22:07

Врач: _____

Рис. 66. Текущий протокол биоимпедансных исследований

В случае резких изменений гидратации организма в таблице приращений в соответствующих ячейках рядом с численным значением объема воды в организме (ОВО) демонстрируется значок голубой капли.

Значок красной перевернутой капли в ячейках изменения активной клеточной массы (АКМ) выставляется программой при резких колебаниях активной клеточной массы, что свидетельствует об избыточности или недостаточности белка в рационе питания в период между текущим и предыдущим измерениями.

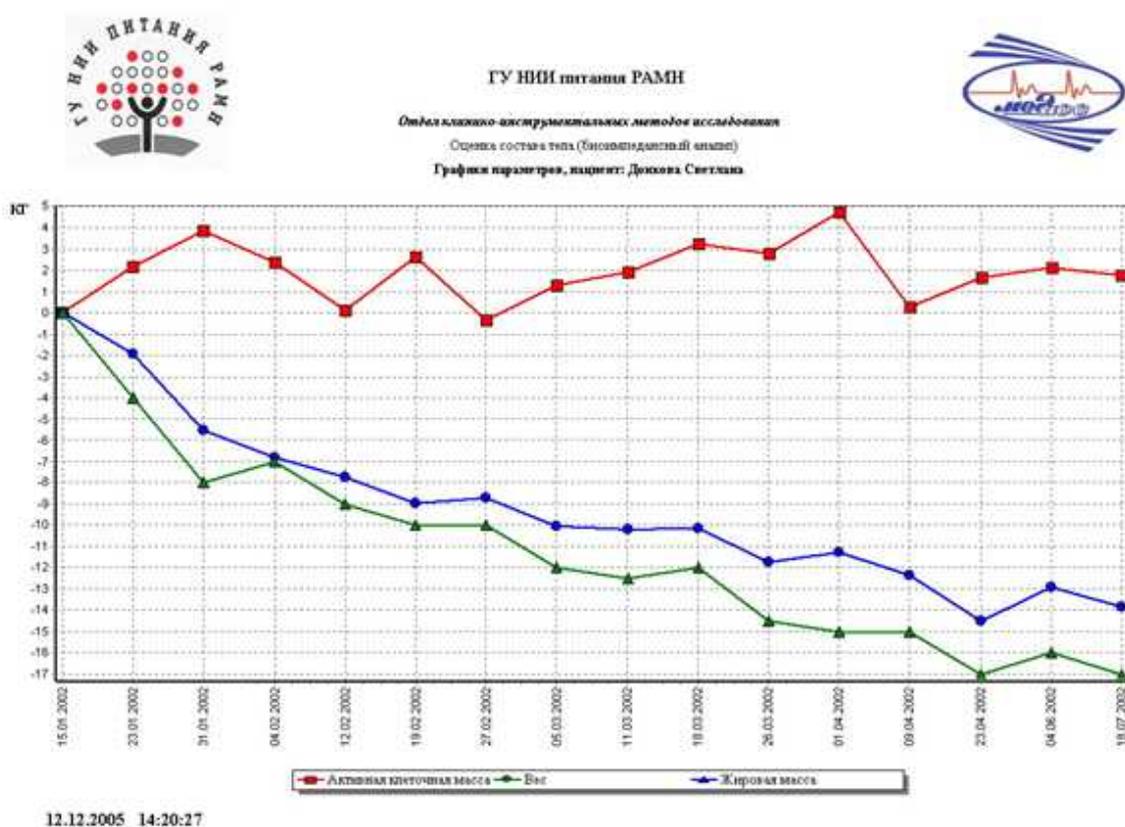


Рис. 67. Графический протокол биоимпедансных исследований

3.6.2.2. По графику

Графическая форма отчета генерируется программой биоимпедансного анализатора после четвертого обследования. Стандартная графическая форма описывает динамику (с датами исследований по оси абсцисс) активной клеточной массы, жировой массы и общей массы тела. Дополнительно может строиться график изменений пяти произвольно выбранных параметров со-

става тела. Для демонстрации тенденций имеется возможность строить графики параболической аппроксимации изменений параметров.

Наиболее часто динамические наблюдения используются при лечении ожирения и коррекции фигуры. Классический вид графического протокола показан на рис. 67. На графике показаны изменения активной клеточной, жировой и общей массы тела.

3.7. Выводы

Биоимпедансометрия имеет важное значение для определения состава тела у здоровых людей и больных некоторыми заболеваниями. Благодаря относительно невысокой цене, портативности, комфортности для пациента и простоте применения метод широко используется в спортивной, клинической медицине и фитнесе. Биоимпедансометрия может быть рекомендована для мониторинга состава тела спортсменов в условиях тренировочного процесса и подготовки к соревнованиям.

3.8. Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите, что Вы знаете о методе биоимпедансного анализа состава тела. Каковы основные принципы применения метода?
2. Что означают термины «активное» и «реактивное сопротивление»? Как определяется фазовый угол?
3. Какое оборудование используется для биоимпедансного анализа состава тела, и каковы способы регистрации данных?
4. Какие программы биоимпедансного анализа Вам известны? Какова точность метода?
5. Дайте определение безжировой массы тела.
6. Дайте определение активной клеточной массы тела.
7. Дайте определение общей воды организма.
8. Для чего используется индекс соотношения талия/бедря?
9. Каковы биофизические субстраты в организме человека для активного и реактивного сопротивлений?

10. Перечислите ограничения и методические требования к проведению процедуры биоимпедансного анализа состава тела.
11. В какую сторону и почему изменится биоимпедансная оценка жировой массы тела в условиях централизации кровообращения?
12. Сколько жира в организме человека может расщепиться за сутки?
13. Каковы нормы биоимпедансной оценки основного обмена для женщин? Для мужчин? Каковы условия достоверной оценки основного обмена?
14. При каких условиях необходимо перейти к скорректированной биоимпедансной оценке жировой массы и как это осуществить в программах ABC-036 и ABC-0361?
15. Как изменится биоимпедансная оценка жировой массы, если потенциальные электроды установить дистальнее применяемого анатомического маркера?
16. О чем свидетельствует расположение друг под другом маркеров ИМТ и ЖМТ?
17. Какую величину % АКМ следует ожидать у мастера спорта?
18. Каков критерий значимой задержки жидкости в организме по данным биоимпедансного анализа?
19. Насколько увеличится скорость потери жировой массы в процедуре коррекции фигуры при правильно подобранной физической нагрузке?
20. Какой компонент состава тела будет оценен неправильно, если пациент в ходе измерений коснется стены или металлического остова кушетки?
21. Как должны изменяться во времени основные параметры состава тела при правильно выбранной тактике коррекции фигуры?
22. Как проявит себя в оценке состава тела обрыв электродного кабеля?
23. Каким категориям пациента не показано проведение биоимпедансного анализа состава тела?
24. Для чего предусмотрена процедура изменения норм в текущем протоколе биоимпедансных измерений?

25. Перечислить важнейшие области применения биоимпедансного анализа состава тела.
26. Какие выводы можно сделать, сравнивая измеренные значения фазового угла с клиническими нормами? Популяционными нормами?

Список литературы

1. Башкиров П.Н., Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И., Чтецов В.П. Строение тела и спорт. М.: Изд-во Московского ун-та, 1968. 236с.
2. Большов В.М., Николаев Д.В., Туйкин С.А. Устройство для определения объёмного содержания внеклеточной и внутриклеточной жидкости в тканях биообъекта. 1991. Патент SU № 1826864.
3. Бунак В.В. Антропометрия. М.: Учпедгиз, 1941. 368с.
4. Иванов Г.Г., Балувев Э.П., Петухов А.Б., Николаев Д.В. и др. Биоимпедансный метод определения состава тела // Вестник РУДН, сер. Медицина. 2000. № 3. С.66-73.
5. Иванов Г.Г., Сыркин А.Л., Дворников В.Е., Николаев Д.В. и др. Мультичастотный сегментарный биоимпедансный анализ в оценке изменений водных секторов организма // Рос. ж-л анестезиологии и интенсивной терапии. 1999. № 2. С.2-9.
6. Капитанов Е.Н., Николаев Д.В. и др. Устройство для измерения электрического импеданса в частях тела. 2003. Патент РФ № 2242165.
7. Мартиросов Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии. М.: ФиС, 1982. 200с.
8. Мартиросов Э.Г., Жданова А.Г., Каплан М.А., Лунгу В.М. Методы контроля состава массы тела у взрослых спортсменов. М., 1984. 22с.
9. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 248с.
10. Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г. Состав тела человека: основные понятия, модели и методы // Теория и практика физической культуры, 2007. №1. С.63-69.

11. Николаев Д.В., Кротов В.П., Носков В.Б., Уткин М.М. Спектр применения методик биоимпедансного анализа и новые возможности их использования в интенсивной терапии // Труды седьмой научно-практической конференции ``Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы'', Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 23 марта 2005г. Москва, 2005. С.301-309.
12. Николаев Д.В., Похис К.А., Цветков А.А., Смирнов А.В. Способ региональной биоимпедансометрии. 1997. Патент РФ № 2204938.
13. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Носков В.Б. Методические вопросы биоимпедансного анализа состава тела и баланса водных секторов // Труды шестой научно-практической конференции ``Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы'', Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 24 марта 2004г. Москва, 2004. С.105-114.
14. Николаев Д.В., Туйкин С.А., Балуюев Э.П. Способ региональной биоимпедансометрии и устройство для её осуществления. 1996. Патент РФ № 2094013.
15. Руднев С.Г., Казакова О.А., Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В. О возрастной динамике фазового угла по данным одночастотного биоимпедансного анализа // Материалы 9-й научно-практической конференции ``Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы'', Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 28 марта 2007 г. Москва, 2007. С.389-395.
16. Тарусов Б.Н. О диэлектрической константе мышцы // Доклады АН СССР. 1934. Т.3, №5. С.353-356.
17. Тарусов Б.Н. Электропроводность как метод определения жизнеспособности тканей // Архив биол. наук. 1938. Т.52, Вып.2. С.178-181.
18. Туманян Г.С., Мартиросов Э.Г. Телосложение и спорт. М.: ФиС, 1976. 280с.

19. Хоули Э.Т., Дон Френкс Б. Руководство инструктора оздоровительного фитнеса. Киев: Олимпийская литература, 2004 (пер. с англ.). 376с.
20. Чоговадзе А.В., Израэль З.Э. Влияние характера спортивной деятельности на формирование некоторых морфологических и функциональных показателей // Теория и практика физ. культуры. 1968. №6. С.29-33.
21. Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические системы: Электрические свойства и биофизические механизмы // ТИИЭР. 1980. Т. 68, № 1. С.121-132.
22. Baumgartner R.N., Chumlea W.C., Roche A.F. Bioelectric impedance phase angle and body composition // Am. J. Clin. Nutr. 1988. V. 48, № 1. P.16-23.
23. Boyd E. Experimental error inherent in measuring growing human body // Am. J. Physiol. 1930. V.13. P.389-432.
24. Cowgill G.R. A formula for estimating the specific gravity of the human body with a consideration of its possible uses // Am. J. Clin. Nutr. 1955. V.5, №6. P.601-611.
25. Current J.D. A linear equation for estimating the body surface area in infants and children // Internet J. Anesthesiol. 1998. V.2, №2.
26. DuBois D., DuBois E.F. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known // Arch. Intern. Med. 1916. V.17. P.863-871.
27. Ellis K.J. Human body composition: in vivo methods // Physiol. Rev. 2000. V. 80, № 2. P.649-680.
28. Fricke H. A mathematical treatment of the electrical conductivity and capacity of disperse systems. I. The electrical conductivity of a suspension of homogeneous spheroids // Phys. Rev. 1924. V. 24. P.575-587.
29. Fidanza F. Body fat in adult man: semicentenary of fat density and skinfolds // Acta Diabetol. 2003. V.40. P.S242-S245.
30. Geddes L.A., Baker L.E. The specific resistance of biological material a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist // Med. Biol. Eng. 1967. V.5. P.271-293.

31. Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. (eds.) Human body composition (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. 533p.
32. Heyward V.H., Wagner D.R. Applied body composition assessment. (2nd ed.) Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. 280p.
33. Hoffer E.C., Meador C.K., Simpson D.C. Correlation of whole-body impedance with total body water volume // J. Appl. Physiol. 1969. V. 26. P.531-534.
34. Houtkooper L.B. Assessment of body composition in youths and relationship to sport // Int. J. Sport Nutr. 1996. V.6, №2. P.146-164.
35. Isaksson B. A simple formula for the mental arithmetic of the human body surface area // Scand. J. Clin. Lab. Invest. 1958. V.10, №3. P.283-289.
36. Kouno T., Katsumata N., Mukai H., Ando M., Watanabe T. Standardization of the body surface area (BSA) formula to calculate the dose of anticancer agents in Japan // Jpn. J. Clin. Oncol. 2003. V.33, №6. P.309-313.
37. Kushner R.F. Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications // J. Am. Coll. Nutr. 1992. V.11, №2. P.199-209.
38. Kyle U.G., Genton L., Karsegard L., Slosman D.O., Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–90 years // Nutrition. 2001. V.17, №3. P.248-253.
39. Lohman T.G., Roche A.F., Martorell R. (eds.) Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. 177p.
40. Lukaski H. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new // Am. J. Clin. Nutr. 1987. V.46, №4. P.537-556.
41. McAdams E.T., Jossinet J. Tissue impedance: a historical overview // Physiol. Meas. 1995. V.16, №3 (Suppl.A). P.A1-A13.
42. Moore F.D., Olesen K.H., McMurray J.D., Parker J.H.V., Ball M. The body cell mass and its supporting environment. Philadelphia: Saunders, 1963.
43. Mosteller R.D. Simplified calculation of body surface area // N. Engl. J. Med. 1987. V.317. P.1098.

44. Nikolaev D., Smirnov A., Tsvetkov A., Pokhis K. Polysegmental bioimpedance method for adiposity investigation // J. Med. Res. 2003. V.28, №5. P.334.
45. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography: The electrical resistive measure of the blood pulse volume. Springfield: Thomas, 1959.
46. Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurements // Lyon Med. 1962.
47. Tittel K., Wutscherk H. Sportanthropometrie. Leipzig: Johan Ambrosius Barth, 1972. 276p.

Словарь сокращений и терминов

Антропометр – прибор для измерения высоты расположения антропометрических точек над уровнем пола

Биоимпедансный анализатор – прибор для определения состава тела на основе измерения электрического импеданса

БИА – биоимпедансный анализ

БМТ – безжировая масса тела

БФМТ – безжировая фракция мягких тканей

ВКЖ – внеклеточная жидкость

ВТВ – внеклеточные твёрдые вещества

ВП – воздушная плетизмография

ГД – гидростатическая денситометрия

Гидрометрия – определение содержания жидкости в организме

Денситометрия – определение плотности тканей и органов тела

ДО – дыхательный объём

ДРА – двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

ЖМТ – жировая масса тела

ИМТ – индекс массы тела

ИТБ – индекс талия/бедр

Калипер – устройство для измерения толщины кожно-жировых складок

КЖ – клеточная жидкость

КМТ – клеточная масса тела

Корреляция – взаимозависимость между варьируемыми признаками

Коэффициент вариации (v) – отношение среднеквадратического отклонения к среднему арифметическому вариационного ряда, $v = a/x$

Коэффициент детерминации (R^2) – квадрат коэффициента корреляции

КТ – компьютерная томография

МЖТ – масса жировых тканей

ММК – минеральная масса костей

ММТ – минеральная масса тела

МПКТ – минеральная плотность костной ткани

МРА – моноэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия

МРТ – магнитно-резонансная томография

МТ – масса тела

ОЭП – общая электрическая проводимость

ОВО – общая вода организма

ПТ – плотность тела

ПФА – простая фотонная абсорбциометрия

РКТ – рентгеновская компьютерная томография

СММ – скелетно-мышечная масса

СМТБЖ – сухая масса тела без жира

Среднеквадратическое отклонение – величина, равная квадратному корню из дисперсии

Тотальные размеры тела – основные антропометрические показатели, характеризующие процессы роста и развития человека (длина тела, масса тела, периметр грудной клетки), а также индивидуальные и групповые различия этно-территориальных и возрастно-половых контингентов

%БМТ – процентное содержание безжировой массы в массе тела

%ЖМТ – процентное содержание жира в массе тела

%МЖТ – процентное содержание жировой ткани в массе тела

%СММ – процентное содержание скелетно-мышечной массы в массе тела

n – размер выборки

ПРИЛОЖЕНИЕ. Программа курса повышения квалификации слушателей ИПК и ППКК РГУФК по теме: «Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе»

Введение

Учебная программа рассчитана на подготовку и повышение квалификации специалистов по физической культуре, спортивной медицине и фитнесу (бакалавров, магистрантов, аспирантов, методистов и др.). Учебное пособие обобщает и систематизирует современные достижения науки в области антропологических и биофизических методов изучения телосложения человека.

Известно, что успешность соревновательной деятельности атлетов в выбранной спортивной специализации в значительной мере определяется морфологическими особенностями организма. Эти особенности оказывают существенное влияние на проявления силы, скорости, выносливости, реактивность организма и его адаптацию к различным факторам внешней среды. В целом, они во многом, определяют физическую дееспособность человека (Башкиров и соавт., 1968; Чоговадзе, Израэль, 1968; Tittel, Wutscherk, 1972; Туманян, Мартиросов, 1976; Мартиросов, Смоленский, 2005).

Несмотря на признание специалистами значимости и необходимости учета морфологических особенностей в спорте, физическом воспитании, спортивной медицине и фитнесе, решение этой задачи значительно лимитируется из-за нехватки квалифицированных кадров, владеющих методами морфологических и биофизических исследований физического развития человека и отсутствием необходимой литературы. Последнее наиболее полное пособие по методам исследований в спортивной антропологии издавалось 25 лет назад (Мартиросов, 1982). Недостаточная фундаментальная функционально-антропологическая подготовка специалистов по физическому воспи-

танию и спорту, врачебному контролю, валеологии и спортивной медицине существенно снижает эффективность их дальнейшей профессиональной деятельности.

Цель учебной программы: расширить, углубить и систематизировать теоретические знания, практические умения и навыки слушателей в использовании методов антропометрии и биоимпедансного анализа в спорте, оздоровительной физической культуре, физическом воспитании, спортивной медицине и фитнесе.

Задачи учебной программы:

- познакомить слушателей с предметом, задачами и некоторыми методами спортивной антропологии; основными объектами исследования; с современным оборудованием и новыми технологиями определения размерных признаков человека и состава тела;
- сформировать устойчивые знания, умения и навыки антропометрических измерений и биоимпедансного анализа;
- обучить слушателей методам сбора, обработки данных и интерпретации результатов морфологических исследований человека.

Категория слушателей: студенты, бакалавры, магистранты, аспиранты, физкультурных и педагогических вузов, спортивные антропологи, специалисты по оздоровительной физической культуре и фитнесу, врачи и научные работники, преподаватели кафедр анатомии и спортивной морфологии, врачебного контроля, спортивной медицины, валеологи, а также все желающие освоить методы антропологических исследований.

Учебно-тематический план учебной программы

№	Разделы и темы	Всего	Аудиторные занятия (час)		Самост. работа
			Лекции	Практические занят.	
1	Антропометрические методы исследования	10	2	8	
1.1	Предмет, цель, задачи и методы спортивной антропологии.	2	2		

1.2	<i>Методическое занятие</i> Правила и методика антропометрических измерений. Основные требования, организация и инструментарий. Положение тела измеряемого; место для измерений; время обследования; организация обследования; антропометрический инструментарий.	2		2	
1.3	<i>Методическое занятие и учебная практика</i> Определение отдельных антропометрических точек, диаметров, обхватов.	6		6	
2	Антропометрия и состав тела	16	4	12	
	Модели состава тела. Популяционная, возрастная и половая изменчивость состава тела человека. Понятие о норме, дефиците и избыточности массы тела. Состав тела и заболеваемость. Состав тела у спортсменов и лиц, занимающихся фитнесом. Индекс массы тела. Состав тела на этапах спортивной подготовки. Состав тела и биологические активные вещества.	4	4		
2.1	Антропометрические методы определения состава массы тела:				
	1. <i>Методическое занятие по теме «Калиперометрия»</i>	2		2	
2.2	2. <i>Методическое занятие и учебная практика.</i> Антропометрические формулы для определения жировой массы тела у лиц разного возраста, типов телосложения, пола и этнической принадлежности, обработка результатов обследования.	2		2	
2.3	3. <i>Методическое занятие и учебная практика.</i> Антропометрические формулы для определения мышечной и безжировой массы тела. Интерпретация результатов обследования.	2		2	
2.4	4. <i>Методическое занятие и учебная практика.</i> Антропометрические формулы для определения скелетной массы тела. Обработка результатов обследования. Определение масс сегментов тела.	4		4	
2.5	<i>Семинарское занятие.</i> Выступление с докладами по результатам антропометрических обследований	2		2	

	состава тела.				
3	Биоимпедансный анализ	10	4	6	
3.1	Биоимпедансный анализ. Оборудование; методика обследования; процедура обследования; безопасность метода; региональная и локальная биоимпедансометрия; анализ источников погрешностей; оценка погрешностей, возникающих при расчете показателей состава тела вследствие ошибок измерения длины, массы тела и активного сопротивления. Оценка погрешности, связанной с отклонениями от рекомендованной процедуры измерений.	4	4		
	<i>Методические занятия и учебная практика.</i> Обследование различных контингентов, обработка результатов, интерпретация результатов; экспресс-анализ; интерпретация динамических наблюдений; интерпретация по текущему графику	6		6	
4.	<i>Итоговое занятие – тестирование.</i> Выступление с докладами; защита рефератов.	4		4	
5	ВСЕГО: 72 ч	40	10	30	30

Содержание разделов и тем

Курс содержит три раздела.

Раздел 1. Антропометрические методы исследования (всего 10 ч, в том числе лекций 2ч; практических занятий 8 ч)

Лекционный материал включает введение в науку о телосложении спортсменов – спортивную антропологию. Знакомит занимающихся с предметом, целями, задачами и методами исследования морфологической изменчивости человека в спорте и фитнесе; основными объектами исследования в спорте, спортивной медицине и фитнесе, с правилами и методиками антропометрических измерений, инструментарием и способами определения основных анатомических точек, используемых при антропометрии, диаметров, обхватных размеров тела и толщины кожно-жировых складок.

Практические занятия включают знакомство с антропометрическим инструментарием и оборудованием; освоение методики измерения высоты

анатомических точек, диаметров, обхватных размеров тела; ведение протокола антропометрического обследования, определения площади поверхности тела человека и масс сегментов тела; освоение методов обработки результатов антропометрических измерений, подготовки заключения и рекомендаций.

Раздел 2. Антропометрия и состав тела (всего 16 ч, в том числе лекций 4 ч, методические занятия и учебная практика 12 ч)

Лекции посвящены изучению моделей состава тела; популяционной, половой и возрастной изменчивости состава тела; понятиям нормы, дефицита и избыточности массы тела; знакомит слушателей с оптимальными значениями соотношения динамики фракций массы тела на различных этапах подготовки спортсменов и при разных состояниях здоровья, а также в связи с применением биологически активных веществ.

Методические занятия и учебная практика предполагают освоение навыков измерений толщины кожно-жировых складок (калиперометрии) и оценки фракций состава тела с использованием различных формул для разных популяций, оценки удельного веса тела с помощью косвенных методов, подготовки итогового заключения и рекомендаций.

Раздел 3. Биоимпедансный анализ (всего 10 ч, в том числе лекций 4 ч, методические занятия и учебная практика 6 ч)

Лекционный материал посвящен применению метода биоимпедансного анализа в спорте, спортивной медицине и фитнесе. Знакомит слушателей с основными измеряемыми величинами (активное, реактивное сопротивление, фазовый угол) и связями их с характеристиками состава тела. Рассматриваются история создания метода, основные принципы оценки фракций массы тела, измерительное оборудование, различные варианты региональной и локальной биоимпедансометрии, вопросы безопасности метода, дается анализ погрешностей и ошибок, возникающих в процессе работы на анализаторе.

Методические занятия и учебная практика включают освоение практических навыков работы на биоимпедансном анализаторе состава тела, со-

ставления заключения по результатам однократного обследования путем сравнения со среднепопуляционными данными и с данными для спортсменов различных специализаций. Обучение методам анализа результатов повторных обследований с интерпретацией динамических изменений состава тела и подготовкой индивидуальных заключений и рекомендаций.

Формы обучения и контроля

Лекции, методические, семинарские и практические занятия, деловые игры, круглые столы, разбор и анализ конкретных ситуаций. Включение активных методов обучения в учебный процесс позволит уделить должное внимание целенаправленному развитию профессиональных способностей и творческого мышления, что обеспечит качественно новый уровень подготовки специалистов с переносом теоретических знаний в практическую область, сформирует умение анализировать теоретический и практический материал.

Семинарские занятия проводятся в форме мини-конференций, на которых слушатели выступают с докладами по итогам практической работы и с защитой рефератов по избранным темам. Проводится обсуждение выступлений участников.

По окончании курса проводится *комплексное тестирование и защита рефератов*.

Темы докладов и рефератов

1. Тотальные размеры, пропорции и состав массы тела у спортсменов высокой квалификации, занимающихся конкретным видом спорта (по выбору).
2. Особенности телосложения юных спортсменов, занимающихся конкретным видом спорта (по выбору).
3. Состав тела у женщин 20–40 лет, занимающихся фитнесом.
4. Состав тела у мужчин, занимающихся бодибилдингом.
5. Состав тела у женщин-спортсменок, занимающихся разными видами спорта (по выбору).
6. Сопоставление результатов оценки состава тела разными методами и с использованием формул различных авторов.

7. Популяционные и возрастные нормы жировой массы тела у лиц разного пола.
8. Избыточная масса тела и ожирение. Дефицит массы тела. Связь с заболеваемостью.

Вопросы к зачету

По разделу 1:

1. Основные объекты исследования морфологической изменчивости человека. Прикладное значение их изучения для спорта, спортивной медицины и фитнеса. Содержание каждого из объектов.
2. Анатомические точки на теле человека, определяемые в ходе антропометрических измерений.
3. Основное оборудование, используемое при измерении продольных, поперечных и обхватных размеров тела человека в спортивной антропологии, врачебном контроле и фитнесе.
4. Основные требования к антропометрическим обследованиям спортсменов.
5. Основные требования к организации антропометрических измерений.
6. Основные ошибки, допускаемые в ходе антропометрических измерений.
7. Основные диаметры, измеряемые при антропометрических обследованиях спортсменов и инструменты, которыми при этом пользуются.
8. Обхватные размеры тела, измеряемые при антропометрических обследованиях, и соответствующий инструментарий.
9. Наиболее частые ошибки, допускаемые при измерениях обхватных размеров тела.
10. Оборудование, используемое для измерения кожно-жировых складок. Основные ошибки измерений.
11. Кожно-жировые складки, измеряемые для оценки жировой массы тела.
12. Методические требования, предъявляемые к измерениям кожно-жировых складок.
13. Формулы для оценки содержания подкожного и общего жира в массе тела.
14. Формулы для оценки мышечной массы тела человека.

15. Основные показатели, включаемые в протокол обследования лиц, занимающихся спортом, фитнесом, и лиц, не занимающихся спортом.
16. Площадь поверхности тела и значение данного показателя в антропологии и медицине. Антропометрические формулы для оценки площади поверхности тела.
17. Удельный вес тела человека и его значение для характеристики представителей разных видов спорта.
18. Способы определения удельного веса тела человека.

По разделу 2:

18. Понятие идеальной массы тела, популяционные стандарты.
19. Росто-весовые таблицы, их достоинства и недостатки.
20. Индекс массы тела (ИМТ). Характеристика нормальных значений для людей разного пола и возраста в общей популяции. Связь ИМТ с заболеваемостью и смертностью.
21. Характеристика ИМТ у спортсменов различных специализаций.
22. Для чего используется индекс талия/бедра (ИТБ)? Характеристика нормальных значений ИТБ в общей популяции.
23. Достоинства и недостатки ИМТ и ИТБ.
24. Модели и методы определения состава тела человека, основные показатели состава тела.
25. Прямые и непрямые методы оценки состава тела. Инварианты состава тела. Понятие эталонного метода.
26. Двухкомпонентные модели состава тела. Область применения. Жировая и безжировая масса тела.
27. Трехкомпонентные модели и методы оценки состава тела. Область их применения. Основные предположения.
28. Общая вода организма. Основные составляющие, биологический смысл.
29. Четырехкомпонентные модели состава тела.
30. Клеточная масса тела, физиологическое значение данного показателя.

31.Пятиуровневая многокомпонентная модель состава тела. Понятие гибридной модели.

По разделу 3:

1. Общая характеристика метода биоимпедансного анализа состава тела.
2. Предположения, лежащие в основе метода биоимпедансного анализа.
3. Основные измеряемые показатели (активное, реактивное сопротивление и фазовый угол), их интерпретация.
4. Оборудование для биоимпедансного анализа. Основные схемы измерений, достоинства и недостатки.
5. Программное обеспечение для биоимпедансного анализа. Какова точность метода?
6. Перечислите ограничения и методические требования к проведению процедуры биоимпедансного анализа состава тела.
7. Как и почему изменится биоимпедансная оценка жировой массы тела в условиях централизации кровообращения?
8. Сколько жира в организме человека может расщепиться за сутки?
9. Каковы нормы биоимпедансной оценки основного обмена для женщин? Для мужчин? Каковы условия достоверной оценки основного обмена?
10. При каких условиях необходимо перейти к скорректированной биоимпедансной оценке жировой массы и как это осуществить в программах ABC-036 и ABC-0361?
11. Как изменится биоимпедансная оценка жировой массы, если потенциальные электроды установить дистальнее применяемого анатомического маркера?
12. О чем свидетельствует расположение друг под другом маркеров ИМТ и ЖМ?
13. Какую величину %АКМ следует ожидать у мастера спорта?
14. Каков критерий значимой задержки жидкости в организме по данным биоимпедансного анализа?

15. Насколько увеличивает скорость потери жировой массы в процедуре коррекции фигуры правильно подобранная физическая нагрузка?
16. Какой компонент состава тела будет оценен неправильно, если пациент во время измерений коснется стены или металлического каркаса кушетки?
17. Как должны изменяться во времени основные параметры состава тела при правильно выбранной тактике коррекции фигуры?
18. Как проявит себя в оценке состава тела обрыв электродного кабеля?
19. Каким группам пациентов не показано проведение биоимпедансного анализа состава тела?
20. Для чего предусмотрена процедура изменения норм в текущем протоколе биоимпедансных измерений?
21. Перечислить важнейшие области применения биоимпедансного анализа состава тела.
22. Какие выводы можно сделать, сравнивая измеренные значения фазового угла с клиническими нормами? Популяционными нормами?

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

Рекомендуемая литература

1. Актуальные проблемы спортивной морфологии и интегративной антропологии / Материалы 2-й Международной научной конференции. М.: Изд-во Московского гуманитарного университета, 2006. 256 с.
2. Алексанянц Г.Д., Абушкевич В.В., Глехас Д.Б. и др. Спортивная морфология: учеб. пособие. М.: Советский спорт, 2005. 92 с.
3. Башкиров П.Н. Учение о физическом развитии человека. М.: Изд-во Московского университета, 1962. 340 с.
4. Безопасность в экстремальных ситуациях: медико-биологические, психолого-педагогические и социальные аспекты. Материалы Всероссийской научной конференции памяти акад. РАЕН В.С. Ястребова. М, 2006. 102 с.
5. Биомедицинские и биосоциальные проблемы интегративной антропологии. Сборник материалов конференции: в 2-х т. / Ред. Л.А. Алексина. СПб: Изд-во СПбГМУ, 1999. 222 с.

6. Большов В.М., Николаев Д.В., Туйкин С.А. Устройство для определения объёмного содержания внеклеточной и внутриклеточной жидкости в тканях биообъекта. 1991. Патент SU № 1826864.
7. Васильев С.В. Основы возрастной и конституциональной антропологии. М.: Изд-во РОУ, 1996. 216 с.
8. Властовский В.Г. Акцелерация роста и развития детей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 279 с.
9. Годик М.А., Балжевич В.К., Тимошкин В.Н. Система общеевропейских тестов для оценки физического состояния человека // Теория и практика физической культуры. 1994. № 5-6. С. 24-32.
10. Дорохов Р.Н, Губа В.П. Спортивная морфология: Учебное пособие для высших и средних специальных заведений физической культуры. М.: СпортАкадемПресс, 2002. 236 с.
11. Доскин В.А., Келлер Х, Мураенко Н.М., Тонкова-Ямпольская Р.В. Морфофункциональные константы детского организма: Справочник. М.: Медицина, 1997. 288 с.
12. Иваницкий М.Ф. Анатомия человека (6-е изд.). М.: Терра-Спорт–Олимпия пресс, 2003. 623 с.
13. Иванов Г.Г., Балуев Э.П., Петухов А.Б., Николаев Д.В. и др. Биоимпедансный метод определения состава тела // Вестник РУДН, сер. Медицина. 2000. № 3. С. 66-73.
14. Иванов Г.Г., Сыркин А.Л., Дворников В.Е., Николаев Д.В. и др. Мультичастотный сегментарный биоимпедансный анализ в оценке изменений водных секторов организма // Рос. ж-л анестезиологии и интенсивной терапии. 1999. № 2. С. 2-9.
15. Изаак С.И. Мониторинг физического развития и физической подготовленности: теория и практика. М.: Советский спорт, 2005. 196 с.
16. Изаак С.И., Панасюк Т.В., Тамбовцева Р.В. Физическое развитие и биоэнергетика мышечной деятельности школьников. М.–Орел: ОРАГС, 2005. 224 с.

17. Капитанов Е.Н., Николаев Д.В. и др. Устройство для измерения электрического импеданса в частях тела. 2003. Патент РФ № 2242165.
18. Кузин В.В. Никитюк Б.А. Интегративная педагогическая антропология. М.: ФОН, 1996. 181 с.
19. Мартиросов Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии. М.: Физкультура и спорт, 1982. 199 с.
20. Мартиросов Э.Г. Морфологический статус человека в экстремальных условиях спортивной деятельности // сер. Антропология, т. 1. Экологические проблемы антропологии / под ред. В.П. Чтецова. М., 1985. С. 100-146.
21. Мартиросов Э.Г. Соматический статус и спортивная специализация: дисс. ... д-ра биол. наук в виде науч. докл. М., 1998. 87 с.
22. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 248 с.
23. Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г. Состав тела человека: основные понятия, модели и методы // Теория и практика физической культуры, 2007. №1. С.63-69.
24. Мартиросов Э.Г., Смоленский А.В. Спортивная деятельность и надежность поведения биологической системы – спортсмен // Вестник РАЕН. 2005. №4. С.90-95.
25. Методы исследования физического развития детей и подростков в популяционном мониторинге: руководство для врачей / под ред. А.А. Баранова и В.Р. Кучмы. М.: Союз педиатров России, 1999. 226 с.
26. Никитюк Б.А. Интеграция знаний в науках о человеке (современная интегративная антропология). М.: СпортАкадемПресс, 2000. 440 с.
27. Никитюк Б.А. Факторы роста и морфофункционального созревания организма. М.: Наука, 1978.
28. Никитюк Б.А., Коган Б.И. Адаптация скелета спортсменов. Киев: Здоровья, 1989. 128 с.
29. Николаев Д.В., Кротов В.П., Носков В.Б., Уткин М.М. Спектр применения методик биоимпедансного анализа и новые возможности их использова-

- ния в интенсивной терапии // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 23 марта 2005 г. Москва, 2005. С.301-309.
30. Николаев Д.В., Похис К.А., Цветков А.А., Смирнов А.В. Способ региональной биоимпедансометрии. 1997. Патент РФ № 2204938.
31. Николаев Д.В., Пушкин С.В., Смирнов А.В., Чедия Е.С., Гаврик М.В., Семенов М.М., Романова Т.Ф. Анализ погрешностей, возникающих при нарушении процедуры исследований состава тела биоимпедансным методом // Труды шестой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 24 марта 2004г. Москва, 2004. С.151–155.
32. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Носков В.Б. Методические вопросы биоимпедансного анализа состава тела и баланса водных секторов // Труды шестой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 24 марта 2004г. Москва, 2004. С.105–114.
33. Николаев Д.В., Туйкин С.А., Балувев Э.П. Способ региональной биоимпедансометрии и устройство для её осуществления. 1996. Патент РФ №2094013.
34. Руднев С.Г., Казакова О.А., Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В. О возрастной динамике фазового угла по данным одночастотного биоимпедансного анализа // Материалы 9-й научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”, Москва, Главный клинический госпиталь МВД России, 28 марта 2007 г. Москва, 2007. С.389-395.
35. Тарусов Б.Н. О диэлектрической константе мышцы // Доклады АН СССР. 1934. Т.3, №5. С.353-356.

36. Тарусов Б.Н. Электропроводность как метод определения жизнеспособности тканей // Архив биол. наук. 1938. Т.52, Вып.2. С.178-181.
37. Хрисанфова Е.Н., Перевозчиков И.В. Антропология: Учебник. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1999. 400 с.
38. Чоговадзе А.В., Израэль З.Э. Влияние характера спортивной деятельности на формирование некоторых морфологических и функциональных показателей // Теория и практика физ. культуры. 1968. №6. С.29-33.
39. Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические системы: Электрические свойства и биофизические механизмы // ТИИЭР. 1980. Т. 68, № 1. С. 121-132.
40. Щедрина А.Г. Онтогенез и теория здоровья: методологические аспекты. Новосибирск, СО РАМН, 2003. 164 с.
41. Baumgartner R.N., Chumlea W.C., Roche A.F. Bioelectric impedance phase angle and body composition // Am. J. Clin. Nutr. 1988. V. 48, № 1. P.16-23.
42. Ellis K.J. Human body composition: in vivo methods // Physiol. Rev. 2000. V.80, №2. P.649-680.
43. Fidanza F. Body fat in adult man: semicentenary of fat density and skinfolds // Acta Diabetol. 2003. V.40. P.S242-S245.
44. Fricke H. A mathematical treatment of the electrical conductivity and capacity of disperse systems. I. The electrical conductivity of a suspension of homogeneous spheroids // Phys. Rev. 1924. V.24. P.575-587.
45. Geddes L.A., Baker L.E. The specific resistance of biological material a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist // Med. Biol. Eng. 1967. V.5. P.271-293.
46. Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. (eds.) Human body composition (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. 533 p.
47. Heyward V.H., Wagner D.R. Applied body composition assessment. (2nd ed.) Champaign, IL: Human Kinetics, 2004. 280 p.
48. Hoffer E.C., Meador C.K., Simpson D.C. Correlation of whole-body impedance with total body water volume // J. Appl. Physiol. 1969. V. 26. P. 531-534.

49. Houtkooper L.B. Assessment of body composition in youths and relationship to sport // *Int. J. Sport Nutr.* 1996. V. 6, № 2. P. 146-164.
50. Kushner R.F. Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications // *J. Am. Coll. Nutr.* 1992. V. 11, № 2. P. 199-209.
51. Kyle U.G., Genton L., Karsegard L., Slosman D.O., Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–90 years // *Nutrition.* 2001. V. 17, № 3. P. 248-253.
52. Lohman T.G., Roche A.F., Martorell R. (Eds.) *Anthropometric standardization reference manual.* Champaign, IL: Human Kinetics, 1991. 90 p.
53. Lukaski H. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new // *Am. J. Clin. Nutr.* 1987. V. 46, № 4. P. 537-556.
54. Martirosov E.G., Homyakova I.A., Pushkin S.V., Romanova T.F., Semenov M.M., Rudnev S.G. Bioelectric impedance phase angle and body composition in Russian children aged 10-16 years: reference values and correlations // *ICEBI 2007, IFMBE Proceedings*, vol. 17 (Eds. H. Sharfetter, R. Merva). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2007, pp 807-810.
55. McAdams E.T., Jossinet J. Tissue impedance: a historical overview // *Physiol. Meas.* 1995. V.16, №3 (Suppl.A). P.A1-A13.
56. Moore F.D., Olesen K.H., McMurray J.D., Parker J.H.V., Ball M. *The body cell mass and its supporting environment.* Philadelphia: Saunders, 1963.
57. Nikolaev D., Smirnov A., Tsvetkov A., Pokhis K. Polysegmental bioimpedance method for adiposity investigation // *J. Med. Res.* 2003. V.28, №5. P.334.
58. Nyboer J. *Electrical impedance plethysmography: The electrical resistive measure of the blood pulse volume.* Springfield: Thomas, 1959.
59. Thomasset A. Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine. Significance of curves obtained // *Lyon Med.* 1962. V.94. P.107-118.



Издательство «Физическая культура»

Издательство «Физическая культура» предлагает широкий выбор учебников, учебных пособий, учебно-методической литературы, монографий, учебных программ и справочной литературы в области физической культуры и спорта. Не остаются без внимания и постоянно публикуются новейшие научные исследования и достижения современных технологий в учебно-тренировочном процессе.

Целевая аудитория издательства обширна и включает в себя не только высшие учебные, среднеспециальные, школьные и дошкольные учреждения, но и широкий круг читателей, интересующихся проблемами спорта и просто ведущих здоровый образ жизни.

Авторами выпускаемой литературы являются опытные ученые, успешные исследователи, заслуженные тренеры, молодые и талантливые специалисты.

«Физическая культура» сегодня - динамично развивающаяся организация, открытая для сотрудничества. Мы приглашаем к совместной работе всех желающих.



Адрес:

105122, г. Москва,

Сиреневый бульвар, д.4.

Тел. 8-499-166-60-74

E-mail: FIZKULT@mail.ru

WWW.SportPublish.ru

Для заметок

Учебное издание

Мартиросов Эдуард Георгиевич
Руднев Сергей Геннадьевич
Николаев Дмитрий Викторович

ПРИМЕНЕНИЕ АНТРОПОЛОГИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ В СПОРТЕ, СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ И ФИТНЕСЕ

Учебное пособие

Корректор С. В. Соколова

Подписано в печать

Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
7,5 усл. - печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ № 101.

Издательство «Физическая культура»
105122, г. Москва, Сиреневый бульвар, д. 4.
Тел. (499) 166-60-74

Отпечатано в типографии