

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

**ТЕХНОЛОГИИ
И МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СОСТАВА ТЕЛА
ЧЕЛОВЕКА**



Москва «Наука» 2006

УДК 572.4
ББК 28.7
М29

Рецензенты
академик *Т.И. Алексеева*,
доктор медицинских наук, профессор *Н.Д. Граевская*

Мартirosов Э.Г.

Технологии и методы определения состава тела человека
/ Э.Г. Мартirosов, Д.В. Николаев, С.Г. Руднев. — М.: Наука,
2006. — 248 с. — ISBN 5-02-035624-7 (в пер.).

В монографии представлен обзор современных технологий и методов определения состава тела человека *in vivo*. Область их применения охватывает широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем биологии и медицины, включая оценку физического развития на индивидуальном и популяционном уровне, диагностику и лечение ожирения и остеопороза, исследование возрастных изменений состава тела, механизмов адаптации организма к внешней среде и профессиональный отбор.

Для специалистов в области биологии, антропологии и медицины.

Martirosov E.G.

Technologies and methods of human body composition assessment
/ E.G. Martirosov, D.V. Nikolaev, S.G. Rudnev. — M.: Nauka,
2006. — 248 p. — ISBN 5-02-035624-7.

In this book, we present an overview of contemporary technologies and methods for the human body composition assessment *in vivo*. A range of their applications involves a wide spectrum of fundamental and applied biomedical problems, such as estimation of physical fitness on individual and population levels, diagnosis and treatment of obesity and osteoporosis, age-related changes in body composition, adaptation to environmental factors, and professional selection.

For biologists, anthropologists and physicians.

Reviewers: *T.I. Alexeeva, N.D. Graevskaya*

ISBN 5-02-035624-7 © Мартirosов Э.Г., Николаев Д.В.,
Руднев С.Г., 2006
© Редакционно-издательское оформление.
Издательство «Наука», 2006

Оглавление

Предисловие	5
От авторов	8
1. Введение	11
1.1. Краткий исторический обзор	11
1.2. Модели состава тела	19
1.2.1. Двухкомпонентная модель	19
1.2.2. Трёхкомпонентные модели	26
1.2.3. Четырёхкомпонентные модели	28
1.2.4. Пятиуровневая многокомпонентная модель	33
1.3. О классификации методов	39
2. Антропометрические методы	41
2.1. Стандарты телосложения, индексы массы тела, заболеваемость и смертность	50
2.2. Калиперометрия	59
3. Методы на основе измерения плотности и объёма тела	81
3.1. Гидростатическая денситометрия	81
3.2. Волюминометрия	87
3.3. Воздушная плетизмография	88
3.4. Альтернативные методы	95
4. Биофизические методы	97
4.1. Методы разведения индикаторов	97
4.2. Биоэлектрические методы	102
4.2.1. Биоимпедансный анализ	102
4.2.2. Метод общей электрической проводимости	128
4.3. Метод инфракрасного отражения	131
4.4. Определение естественной радиоактивности всего тела	135

4.5.	Нейтронный активационный анализ	135
4.6.	Методы на основе рентгеновского и радиоизотопного излучений	139
4.6.1.	Простая фотонная и двухфотонная абсорбциометрия	140
4.6.2.	Моноэнергетическая и двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия	142
4.6.3.	Рентгеновская компьютерная томография	150
4.7.	Магнитно-резонансная томография	156
5.	Послесловие	160
	Приложения	163
	П.1. Этапы развития методов и технологий опреде- ления состава тела	163
	П.2. Стандарты телосложения и состав тела спортс- менов высокой квалификации, специализи- рующихся в некоторых олимпийских видах спорта	167
	П.3. Состав тела условного человека	195
	П.4. Формулы для определения состава тела на ос- нове антропометрии, калиперометрии и био- импедансного анализа	199
	П.5. Формулы для оценки основного обмена	200
	П.6. Оборудование для определения состава тела	201
	Литература	204
	Словарь сокращений и терминов	235
	Именной указатель	237
	Предметный указатель	244

Предисловие

Книга Э. Г. Мартиросова, Д. В. Николаева и С. Г. Руднева “Технологии и методы определения состава тела человека” посвящена одному из разделов морфологии человека, который выделился в последние годы в фундаментальное научное направление — изучение состава тела человека.

Актуальность выбранной темы объясняется существованием множества теоретических и прикладных проблем, решение которых не может быть достаточным без изучения состава тела. К таким проблемам, в первую очередь, относятся вопросы оценки физического развития человека, адаптации к факторам среды обитания, а также к условиям профессиональной и спортивной деятельности, в ряду которых особенно выделяются экстремальные и прикладные виды спорта, работа в различных условиях гравитации, инсоляции, магнитного поля Земли, гипоксии и т.д. Не менее актуальную значимость имеет данная проблема в клинической медицине. Наиболее массовое применение методов оценки состава тела в этой области связано с диагностикой и оценкой эффективности лечения ожирения и остеопороза.

За последние 25 лет эволюция изучения состава тела человека прошла впечатляющий путь развития от использования классических методов антропометрии и гидростатического взвешивания до разработки и широкого внедрения новых методов изучения состава тела, основанных на измерении параметров внешних физических полей при их взаимодействии с организмом. К таким методам относятся рентгеновская костная денситометрия, компьютерная и магнитно-резонансная томография, ультразвуковая и инфракрасная диагностика. В условиях интенсивной терапии и гемодиализа особенно хорошо зарекомендовал себя метод многочастотного биоимпедансного анализа для оценки баланса водных секторов организма. Данный метод нашёл применение в кардиохирургии для оценки содержания жидкости в нижних конечностях (эта величина

высоко коррелирует с показателем смертности). Значение фазового угла — характеристика импеданса тела — является прогностически значимым маркером времени дожития больных СПИДом.

Внедрение новых технологий и методов исследования позволяет повысить надёжность и оперативность оценки таких показателей состава тела, как жировая, безжировая, клеточная и минеральная масса тела, объём плазмы крови, клеточной и внеклеточной жидкости. Современные подходы дают возможность изучения состава тела на всех уровнях организации биологической системы: элементном, молекулярном, клеточном, органо-тканевом и на уровне целостного организма.

Особенно широкое распространение современные технологии и методы определения состава тела получили в промышленно развитых западных странах. К сожалению, в нашей стране их использование пока ограничивается крупными медицинскими и научно-практическими центрами. Правда, в этой связи следует отдать справедливость отечественным антропологам, широко использующим антропометрические методы определения состава тела в полевых условиях при исследованиях приспособления человеческих популяций к различной естественной среде обитания. Им удалось показать, что географическая изменчивость состава тела весьма значительна и обусловлена, прежде всего, воздействием климатических, геохимических и ландшафтных факторов на строение тела человека.

В предлагаемой книге обобщён основной опыт развития технологий и методов изучения состава тела человека. Авторы представили подробный обзор истории, методологии и результатов изучения состава тела, провели анализ существующих методов с точки зрения их информативности и безопасности, показали возможности применения методов в различных областях науки о человеке. Даны сравнительная метрологическая оценка методов и конкретные взвешенные рекомендации по их применению.

Особо следует отметить приведённые в приложении стандарты телосложения и состава тела спортсменов высокой квалификации, специализирующихся в некоторых олимпийских видах спорта. Это оригинальные данные Э. Г. Мартиросова и его учеников и сотрудников, полученные в результате обследования многократных чемпионов России, СССР, Европы и мира. Значимость этих данных трудно переоценить. Не говоря о практической ценности, которая сомнений не вызывает, эти данные могут оказать существенную помощь в интерпретации закономерностей, связанных с террито-

риальной вариацией типов телосложения у групп коренного населения, живущего в экстремальных географических условиях и занимающихся традиционными видами деятельности с повышенными силовыми нагрузками.

Книга снабжена большим количеством справочных данных и предметным указателем. Такая форма представления материала позволяет быстро найти в книге интересующую информацию. Для более детального знакомства с предметом читателям предлагается большое количество ссылок на литературные источники.

Книга является первым в России монографическим изданием по рассматриваемой теме. Без сомнения, она вызовет большой интерес и сможет служить настольной книгой для специалистов в области биологии человека, антропологов, диетологов, эпидемиологов, гигиенистов, педиатров, клиницистов и спортивных врачей, интересующихся методами изучения состава тела. Книга будет полезна студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Академик РАН
Т.И. Алексеева

От авторов

Исследования состава массы тела человека *in vivo* приобретают в последние годы всё возрастающее значение. Результаты многочисленных работ свидетельствуют, что состав тела имеет существенную взаимосвязь с показателями физической работоспособности человека, с его адаптацией к условиям внешней среды, а также с профессиональной и спортивной деятельностью. Изучение состава тела играет ключевую роль в диагностике ожирения, остеопороза, значимо при некоторых других заболеваниях, и позволяет с хорошей точностью прогнозировать риск их развития. В клинической, оздоровительной и спортивной медицине важное значение имеют задачи мониторинга состава тела. Сфера применения и возможности методов определения состава тела постоянно расширяются.

К началу второй половины XX в. для количественной оценки состава тела помимо антропометрии уже использовались гидростатическая денситометрия и методы разведения индикаторов. На современном этапе для изучения состава тела применяются практически все разновидности медицинских диагностических методов. Были разработаны и усовершенствованы ультразвуковые методы и рентгеновская абсорбциометрия, биоимпедансный анализ, метод общей электрической проводимости и воздушная плетизмография, интенсивное развитие получили нейтронный активационный анализ и метод инфракрасного отражения. Относительно недавно для изучения состава тела стали использовать рентгеновскую компьютерную и магнитно-резонансную томографию.

Наблюдаемый в последние годы стремительный рост количества публикаций в области изучения состава тела (см. рис. 1.3 на стр. 17) связан с разработкой и применением биофизических методов, основанных на регистрации изменения параметров внешних физических полей при их взаимодействии с биологическим объектом. В отечественной номенклатуре медицинских специальностей эти методы объединяются термином “лучевая диагностика”.

Результаты изучения состава тела человека составляют основу нескольких тысяч публикаций в рецензируемых журналах, а также трудов ряда научных конференций, монографий, сборников и практических руководств, изданных, главным образом, на английском языке (Brozek, Henschel, 1961; Brozek et al., 1963; Moore et al., 1963; Brozek, 1965; Behnke, Wilmore, 1974; Ellis et al., 1987; Forbes, 1987; Lohman et al., 1988; Yasumura et al., 1989, 1990; Overbeck, Bohm, 1990; Lohman, 1992; Ellis, Eastman, 1994; Heyward, Stolarczyk, 1996; Roche et al., 1996; Yasumura et al., 2000; Preedy et al., 2001; Heyward, Wagner, 2004; Heymsfield et al., 2005). Интенсивно развивается направление, связанное с изучением состава тела животных (Speakman, 2001).

Количество работ на русском языке ограничено, некоторое представление о них можно составить из приведённого в конце книги списка литературы. Первые достаточно полные обзоры методов и результатов исследования состава тела были представлены в нашей стране В. П. Чтецовым и Н. С. Смирновой (Смирнова, 1964; Чтецов, 1965, 1978). В последующие годы попыток дальнейшего обобщения вновь появляющихся результатов не предпринималось. Предлагаемая книга призвана частично восполнить существующий пробел. В ней мы попытались кратко изложить теоретические основы, современное состояние и перспективы развития этой новой динамично растущей области биомедицинских исследований.

В главе 1 приводится краткий обзор истории развития методов и технологий определения состава тела человека и даётся общее представление о традиционно используемых моделях состава тела. В главе 2 содержится описание антропометрических методов и калиперометрии. Глава 3 посвящена методам определения состава тела, основанным на измерении плотности или объёма, и прежде всего гидростатической денситометрии и воздушной плетизмографии. В главе 4 рассматриваются биофизические методы. Мы не ставили перед собой задачи подробной характеристики их математических основ и физической сущности, эта тема достаточно полно освещена в других работах [см., например, (Джемисон и др., 1965; Хадсон, 1972; Кузнецов, 1974; Тихонов и др., 1987; Уэбб, 1991; Кравчук, 2001)]. Поэтому основное внимание уделяется описанию измерительных процедур, условиям применения и сравнительному анализу методов с характеристикой их информативности, надёжности и безопасности, а также доступности и стоимости измерительной аппаратуры. В завершающей главе 5 кратко излагаются наши представления о некоторых тенденциях развития методов.

Приложения содержат справочный материал, относящийся к изучению состава тела человека. В приложении 1 некоторые важные достижения в этой области и имеющие к ним отношение открытия в области естественных наук перечислены в хронологическом порядке. В приложении 2 приводятся оригинальные антропометрические данные, характеризующие телосложение и состав тела советских и российских спортсменов высокой квалификации, входивших в середине 1980-х и начале 1990-х годов в основные составы сборных команд страны по некоторым олимпийским видам спорта. Кроме того, приводятся данные о составе тела условного человека (приложение 3), формулы для определения состава тела (приложение 4) и основного обмена (приложение 5), а также сведения о фирмах-производителях оборудования для определения состава тела (приложение 6). Для удобства книга снабжена списком сокращений и терминов, а также именным и предметным указателями.

Монография адресована специалистам в области биологии, антропологии и медицины, интересующимся теорией и приложениями методов изучения состава тела *in vivo*. Ввиду ограниченности объема книги не представляется возможным дать исчерпывающий обзор всей имеющейся информации по данной теме. Вследствие широты рассматриваемого круга вопросов неизбежны неточности и недостатки, которые мы надеемся устранить в последующих изданиях. Мы также надеемся, что выход книги в свет окажется полезным для дальнейшего развития этой области исследований в России.

Выражаем признательность Т. И. Алексеевой, Н. Д. Граевской и В. Б. Носкову за чтение рукописи и высказанные замечания, А. Г. Ждановой и М. И. Уткиной — за полезные консультации. Наша отдельная благодарность Т. И. Алексеевой за предисловие к книге. Мы благодарим Д. Вагнера (университет Южной Калифорнии, США), З. Ванга (Колумбийский университет, США) и Б. Росса (Rosscraft, Канада), приславших свои публикации. Также благодарим Л. Д. Терлову (биологический факультет МГУ), Б. Кин, Т. Кэллахан (Life Measurement Instruments, США) и Дж. Росбери (университет Дюка, США) за помощь в подборе иллюстраций, Т. Ф. Романову — за техническую поддержку на разных этапах подготовки рукописи. В книге использованы материалы иллюстративного фонда НИИ антропологии МГУ им. М. В. Ломоносова (хранитель фонда С. Г. Ефимова).

Глава 1

Введение

Имеется три вида сущностей: прежде всего воспринимаемые чувствами; из них одни — вечные, другие — преходящие, признаваемые всеми (например, растения и животные), и для таких сущностей надлежит указать их элементы — либо один, либо несколько.

Аристотель, *Метафизика*

1.1. Краткий исторический обзор

Вопросы изучения состава тела интересовали людей так или иначе на всём протяжении человеческой истории. Как свидетельствуют археологические находки фигурок каменного века, предпосылки для развития научного подхода к изучению состава тела создаются уже в эти далёкие времена. Вероятно, первые попытки объективного количественного исследования состава тела связаны с началом формирования естественнонаучной картины мира на Древнем Востоке и в эпоху античности. Значительный интерес вызывало явление ожирения. Исторические доказательства этого интереса можно найти в трудах древних социологов, историков, философов и художников. Одни утверждали, что ожирение — это болезнь и наказание, особенно у детей. В других случаях такие факторы, как недостаточность питания, бедность и болезни, вызывающие исхудание и часто — преждевременную гибель, формировали у некоторых племён связь ожирения с достатком и открывали перед индивидами с избыточной массой тела возможность улучшения социального статуса (Татонь, 1981). В связи с этим интересно

упомануть свод законов древневавилонского царя Хаммурапи, относящийся к XVIII в. до н.э., призванный, по определению его составителя, “защитить слабого от сильного”. Один из способов доказательства вины подсудимого здесь имел непосредственное отношение к составу его тела. Обвиняемого бросали в воду Евфрата со связанными руками и ногами. Если в течение короткого времени человек не показывался на поверхности воды, то, по существовавшим тогда поверьям, это служило “неопровержимым доказательством” его вины. Можно предположить, что данное правило явилось результатом обобщения эмпирических наблюдений. Простой расчёт с использованием двухкомпонентной модели состава тела показывает, что шансов выплыть на поверхность воды гораздо больше у индивидов с избыточным содержанием жира в организме.¹ Вероятно, таким образом законы Хаммурапи дополнительно защищали интересы богатых сословий — рабовладельцев и жрецов, частота встречаемости ожирения у которых на Древнем Востоке была, предположительно, высокой. Отметим, что в XVII в. датский анатом Томас Бартолин (1616–1680) предложил использовать аналогичный принцип в судебной медицине для определения того, родился ли младенец живым или мёртвым. Лёгкие младенца опускали в воду, и если они не тонули, то, следовательно, в них находился воздух, а значит ребёнок был рождён живым.

В ходе дальнейшего развития цивилизации и культуры происходит отказ от фетишизации ожирения. Так, в период Египетской, Критской, Греческой, Римской и Индийской культур уже можно встретить отрицательное отношение к ожирению и призывы к борьбе с ним как с социальной и медицинской проблемой. Сохранившиеся до наших дней античные настенные росписи свидетельствуют о том, что астеническое телосложение служило эталоном красоты как на Крите, так и в Риме. Тем не менее, в Древней Греции и Риме люди с повышенным содержанием жира в организме составляли значительную часть популяции. Очень тучным был знаменитый поэт Гораций, этим же отличались афиняне Сократ и Платон. Однако в Древней Спарте существовали обязательные для всех стандарты телосложения, а молодые мужчины, масса тела которых отклонялась от установленных пределов, рисковали быть изгнанными из города.

На существование связи между формой, строением тела и различными физиологическими и психическими показателями обра-

¹Для этого перед погружением им достаточно сделать глубокий вдох.

щали внимание Гиппократ (ок. 460–370 до н. э.) и Аристотель (384–322 до н. э.) [цит. по (Лакин, 1973)]. В своих трудах, посвящённых ожирению, Гиппократ, Гален и Аретей из Каппадокии различали “водяную тучность” и “твёрдое ожирение” (без отёков). Твёрдое ожирение они рассматривали как результат переедания и предлагали лечить его голоданием и физическими нагрузками. Гиппократ обращал внимание, что чрезмерно тучные люди живут меньше, а слишком полные женщины бесплодны (Татонь, 1981).

Другим примером начала формирования научного подхода к изучению состава тела являются знаменитые опыты древнегреческого учёного Архимеда по изучению физических свойств материальных тел путём их погружения в жидкость. Закон Архимеда, описанный им в трактате “О плавающих телах” [см. (Архимед, 1962)], лежит в основе гидростатической денситометрии — одного из современных методов определения состава тела человека.

Важное значение для рассматриваемой области имели работы античных скульпторов и живописцев, создававших основы реалистического направления в искусстве. Общее представление о существовавших в эту эпоху канонах пропорций тела можно получить из рассказов римского писателя и учёного Плиния Старшего (ок. 23–79). В обзорных работах по истории антропометрии часто приводится пример статуи Поликлета “Дорифор” (“Копьеносец”, рис. 1.1), в которой античный скульптор V в. до н. э., известный помимо прочего изготовлением бронзовых статуй чемпионов Олимпийских игр, реализовал развитую в своём теоретическом трактате “Канон” систему представлений об эталоне телосложения человека [см., например, (Ross, 2000)].² Из гармонических отношений частей тела человека древние греки выводили пропорции архитектурных сооружений (Витрувий, 2003).



Архимед
(287–211 до н.э.)

²Указанный трактат и оригинал статуи, о которых упоминается в книге Плиния Старшего “Естественное знание: Об искусстве” (*Naturalis Historia*), не сохранились (Брокгауз, Эфрон, 1898). На рис. 1.1 показано изображение римской копии статуи “Дорифор” более позднего происхождения.



Рис. 1.1. Дорифор

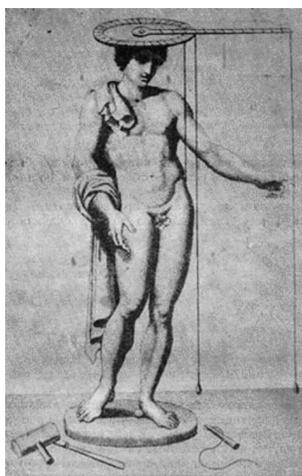


Рис. 1.2. Финиторий³

любая точка на поверхности тела единственным образом определяется в виде набора расстояний и углов в цилиндрической системе координат. Данное изобретение позволило создавать точные мас-

В античности тело человека делили самое большее на шесть или семь частей, и в соответствии с этим создавали технические каноны для художников (Лосев, 1998). Позднее произошёл поворот в сторону более подробного количественного описания. На рис.1.2 приведено изображение финитория (от лат. *finitio* — ограничение). Это устройство для измерения тела человека, предложенное Леоном Баттистом Альберти (1404–1472) — итальянским теоретиком искусства, изобретателем и архитектором эпохи раннего Возрождения. Описание прибора содержится в его трактате “О статуе” [см. (Альберти, 1937)]. Устройство состоит из трёх частей: горизонта, радиуса и отвесов. Горизонт представляет собой плоский градуированный круг, который крепится на вершине статуи. Радиус — это линейка со свободным концом, другой конец которой фиксирован в центре круга. Отвесы крепятся к радиусу и сделаны, согласно Альберти, из тонкой нити со свинцовой гирькой. Высота любой точки статуи над полом определялась при помощи экземпеды — тонкой линейки, прикладываемой к нити отвеса, длина которой бралась равной длине тела. Расстояние на радиусе и экземпедой откладывалось в одних и тех же условных единицах — “футах”, “дюймах” и “минутах”, равных $1/6$, $1/60$ и $1/600$ длины измеряемого тела, соответственно. Легко видеть, что с помощью финитория и экземпеды

³Из книги Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие. М.: Прогресс, 1974. — 392 с.

штабируемые копии статуй. В конце упомянутой работы Альберти приводит таблицу измерений размеров и пропорций человеческого тела, в которой “заимствовано всё самое изящное по красоте форм”. Впоследствии другой представитель эпохи Возрождения немецкий живописец и график Альбрехт Дюрер (1471–1528) дополнительно разделил “минуты” на три равные части, и таким образом использовал экземпеды с нанесёнными на них 1800 делениями. Дюрер, в отличие от Альберти, в своём трактате “Четыре книги о пропорциях человеческого тела” (*Vier Bücher von menschlicher Proportion*) впервые в развитии учения о пропорциях тела отказался от использования понятия “идеальное телосложение” и рассмотрел 26 типов телосложения человека, взяв за основу различные соотношения размера головы к длине тела [см. (Дюрер, 1957)].

О хорошем знании анатомии человека на Древнем Востоке свидетельствуют успехи, достигнутые в хирургии (Шумер, Древний Вавилон, Ассирия) и в искусстве бальзамирования (Древний Египет). Позднее в своём классическом труде “О частях человеческого тела” уже упомянутый выше древнеримский врач Гален (131–201) впервые представил целостное анатомо-физиологическое описание организма человека. Часть своих представлений о строении тела он перенёс с анатомических опытов на животных. Работы Галена, обобщившие опыт античной медицины, оказали влияние на развитие естествознания вплоть до XV–XVI вв. Данные о размерах внутренних органов человека имеются в знаменитом трактате “Канон врачебной науки” среднеазиатского учёного и врача Ибн Сины (Авиценны) (980–1037). В эпоху Возрождения одним из первых тело человека при помощи вскрытий изучал Леонардо да Винчи (1452–1519). В XVIII в. стали широко известны анатомические рисунки и описания различных органов и систем организма, выполненные им при вскрытии более чем 30 трупов мужчин и женщин разного возраста [см. (Леонардо да Винчи, 1965)].

Основоположником современной анатомии считается другой представитель эпохи Возрождения — Андреас Везалий (1514–1564). Его главный труд “О строении человеческого тела” (*De Humani Corporis Fabrica*) был издан в Базеле в 1543 году. Везалий дал научное описание всех органов и систем организма и указал на многие ошибки своих предшественников, включая Галена. Работы в области анатомии явились фундаментом для развития знаний о составе тела на тканевом уровне.

В Средние века и последующие времена голодание и аскетизм нередко рассматривались как эффективный способ достижения со-

вершенства, в то же время злоупотребление едой и питьём было довольно широко распространено, а тучность служила символом богатства, изобилия и даже красоты. Это нашло отражение в творчестве Рубенса (“Суд Париса”), Рембрандта (“У источника”), Ингреса (“Купающиеся турецкие женщины”) и других мастеров живописи. В XVIII в. первую фундаментальную работу, посвящённую ожирению, издал Флемминг (1752). В 1784 г. шотландский врач У. Куллен высказывает мнение, что ожирение только тогда является болезнью, когда оно весьма выраженное и осложнено одышкой и неспособностью к работе (Татонь, 1981).



А. Кетле (1796–1874)

Важная предпосылка для развития методов исследования состава тела возникла в первой половине XIX в. в связи с началом применения математической статистики в демографических и биологических исследованиях. Одним из основоположников демографической статистики и биометрии является Адольф Жак Ламбер Кетлэ (A. J. L. Quetelet) — бельгийский математик и астроном, ученик Лапласа и Фурье, основатель и первый директор Бельгийской королевской обсерватории. Для общей характеристики человеческих популяций А. Кетле в 1835 году ввёл понятие “среднего человека” (*l’homme moyen*), а для оценки индивидуального физического развития впервые в истории антропометрии он предложил так называемые весо-ростовые индексы (Quetelet, 1835). С тех пор усилиями разных исследователей было создано несколько десятков таких индексов, но наибольшей популярностью среди них пользуется индекс Кетле, равный отношению массы тела, измеряемой в килограммах, к квадрату длины тела, измеряемой в метрах. Индекс Кетле применяется Всемирной организацией здравоохранения для характеристики пищевого статуса, предварительной диагностики ожирения и оценки риска развития сердечно-сосудистых и других заболеваний. Проведённые недавно масштабные клинико-эпидемиологические и демографические исследования выявили существенную взаимосвязь индекса Кетле с общей заболеваемостью и смертностью, а также с заболеваемостью и смертностью от различных болезней (Calle et al., 1999). При обследовании больных ожирением индекс Кетле рекомендуется считать пятым основным показателем жизнедеятельности организма

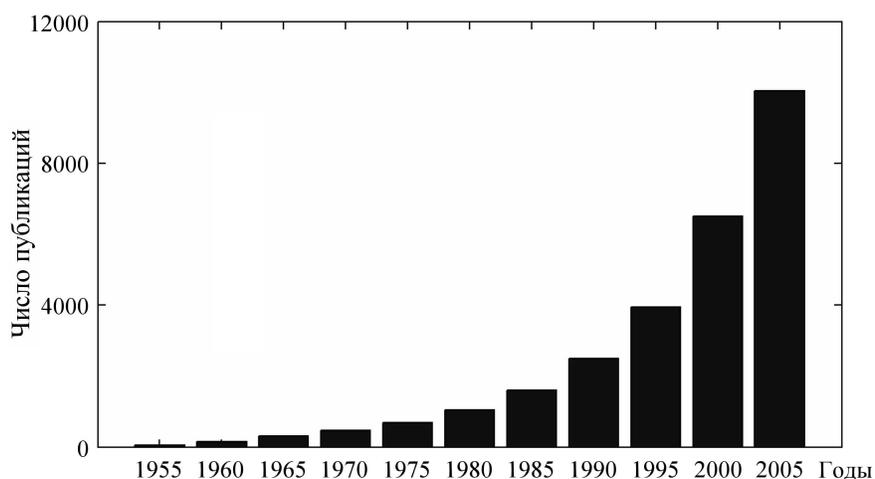


Рис. 1.3. Динамика выхода публикаций, связанных с изучением состава тела, за последние 50 лет (оценка с использованием баз данных Medline и HighWire Press)

наряду с артериальным давлением, частотой сердечных сокращений, частотой дыхания и температурой тела (Бессесен, Кушнер, 2004). Более надёжной по сравнению с индексом Кетле характеристикой тучности индивидов является процентное содержание жира в организме, так как высокие значения индекса Кетле могут быть связаны с увеличением мышечной массы тела.

В конце XX в. в результате развития биохимии, биофизики, радиологии и других наук появляются фундаментальные разработки проблемы ожирения, издаются серии монографических работ. Получено большое количество физиологических и клинических данных, характеризующих механизмы развития ожирения и способы его лечения. Многочисленные исследования свидетельствуют, что высокое процентное содержание жира в организме является существенным фактором риска для здоровья. Ожирение оказывает отрицательное влияние на здоровье и снижает продолжительность жизни. Очень часто ожирение сопровождается гипертонзией, гиперхолестеринемией и инсулинонезависимым сахарным диабетом и связано с увеличением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, а также рака, диабета и других патологий.

Сегодня область изучения состава тела человека охватывает широкий спектр фундаментальных и прикладных проблем биологии и медицины. Неполный их перечень включает оценку физиче-

ского 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. На рис. 1.3 показана динамика выхода публикаций, связанных с изучением состава тела, за последние 50 лет. Поиск проводился в базах данных Medline и HighWire Press по словосочетанию “состав тела” (body composition) в названиях и аннотациях статей. Из рис. 1.3 следует, что каждые десять лет общее количество публикаций по составу тела увеличивается более чем вдвое.

Определение состава тела имеет важное значение в спорте и используется тренерами и спортивными врачами для оптимизации тренировочного режима в процессе подготовки к соревнованиям. Наши многолетние исследования сильнейших спортсменов Советского Союза и России (Мартиросов, Репников, 1970; Мартиросов, Туманян, 1974; Мартиросов и др., 1972, 1977, 1984, 1988, 1989а; Туманян, Мартиросов, 1976; Мартиросов, 1985, 1998; Мартиросов, Кочеткова, 1986; Абрамова, Мартиросов, 1988а,б, 1991) позволили установить оптимальные значения жировой и мышечной массы тела у спортсменов на разных этапах годичного цикла подготовки (подготовительный, соревновательный, переходный этапы). Различные соотношения показателей состава тела непосредственно связаны с состоянием физической работоспособности спортсменов (Мартиросов, 1968), тесно 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. В полевых условиях преимущество имеют антропометрические методы и биоимпедансный анализ. Как свидетельствуют отечественные и западные исследования (Башкиров и др., 1968; Tanner, 1968; Tittel, Wutscherk, 1972; Neuyward, 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 (см. Приложение 2). 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).

Состав тела определяют в диетологии, анестезиологии, при мониторинге баланса жидкости в реаниматологии и интенсивной те-

рапии, при лечении пациентов с анорексией, ожирением, отёками (Иванов и др., 1999; Baxter, 1999; Edington, 1999). Большое значение имеет изучение состава тела для профилактики, диагностики и оценки эффективности лечения остеопороза (Ригз, Мелтон, 2000; Рожинская, 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.

1.2. Модели состава тела

Удобным средством организации и представления знаний о составе тела человека служат *модели состава тела*. Под моделью состава тела понимается совокупность количественных данных и предположений, а также соответствующая математическая формула, позволяющие определить содержание компонент состава тела, образующих в сумме всё тело. Традиционно используются двух-, трёх- и четырёхкомпонентные модели, а также пятиуровневая многокомпонентная и другие модели состава тела (Behnke, 1942; Siri, 1956, 1961; Brozek et al., 1963; Lohman, 1986; Wang et al., 1992).

1.2.1. Двухкомпонентная модель

В классической двухкомпонентной модели масса тела человека (МТ) рассматривается как сумма двух составляющих: жировой массы тела (ЖМТ) и безжировой массы тела (БМТ)⁴:

$$МТ = ЖМТ + БМТ. \quad (1.1)$$

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. На рис. 1.4 показано нормальное соотношение для мужчин, при котором ЖМТ составляет около 15% массы тела. У больных ожирением этот показатель увеличен более чем вдвое.

⁴В литературе на русском языке в качестве синонимов термина “безжировая масса тела” также используются понятия “обезжиренная масса” (Смирнова, 1965; Лутовинова, Чтецов, 1969) и “масса тела, свободная от жира” (Бондаренко, Каплан, 1978).

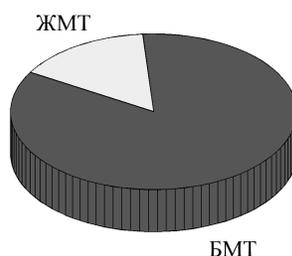


Рис. 1.4. Классическая двухкомпонентная модель состава тела (Siri, 1961; Brozek et al., 1963). Масса тела представлена как сумма жировой и безжировой массы (ЖМТ и БМТ, соответственно)

Согласно чаще используемой при изучении состава тела анатомической классификации, различают *существенный жир*, входящий в состав белково-липидного комплекса большинства клеток организма (например, фосфолипиды клеточных мембран), и *несущественный жир* (триглицериды) в жировых тканях.⁵

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

⁵Общие сведения о липидах, включая краткий обзор биологических функций и химическую классификацию, можно найти, например, в работе *Васьковский В.Е.* Липиды // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 3. С. 32–37. http://journal.issep.rssi.ru/articles/pdf/9703_032.pdf

ших функции эндокринной и иммунной системы. К ним относятся лептин, IL-6, фактор некроза опухолей и другие (Frühbeck 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.

Масса тела за исключением жира, т. е. липидов, имеет название *безжировой массы тела* (БМТ). Компонентами БМТ являются общая вода организма, мышечная масса, масса скелета и другие составляющие.

Существующие методы оценки состава тела в двухкомпонентной модели основаны на измерении одной из двух величин: *плотности тела* или *содержания воды в организме*. В первом случае предполагаются постоянными и известными плотности безжировой и жировой массы тела ($P_{БМТ}$ и $P_{ЖМТ}$, соответственно).

Пусть $ПТ$ — плотность тела, $V = МТ/ПТ$ — объём тела, $V_{ЖМТ} = ЖМТ/P_{ЖМТ}$ — объём жировой массы тела, а $V_{БМТ} = БМТ/P_{БМТ}$ — объём безжировой массы тела. Имеем тождество:

$$V = V_{ЖМТ} + V_{БМТ}, \quad (1.2)$$

или

$$\frac{МТ}{ПТ} = \frac{ЖМТ}{P_{ЖМТ}} + \frac{БМТ}{P_{БМТ}}. \quad (1.3)$$

Отсюда с учётом (1.1) получаем выражение для процентного содержания жира в организме ($\%ЖМТ = ЖМТ/МТ \times 100$):

$$\%ЖМТ = \frac{П_{ЖМТ}}{П_{БМТ} - П_{ЖМТ}} \left(\frac{П_{БМТ}}{ПТ} - 1 \right) \times 100. \quad (1.4)$$

При подстановке вместо $П_{ЖМТ}$ и $П_{БМТ}$ конкретных числовых значений получаются различные формулы для $\%ЖМТ$.

Для изучения состава тела у *взрослых людей* наиболее широко применяются формулы В. Сири⁶ и Й. Брожека⁷:

$$\%ЖМТ = (495/ПТ) - 450 \quad (\text{Siri, 1961}); \quad (1.5)$$

$$\%ЖМТ = (497,1/ПТ) - 451,9 \quad (\text{Brozek, 1963}). \quad (1.6)$$

Формула Сири соответствует значениям $П_{БМТ} = 1,10$ г/мл, $П_{ЖМТ} = 0,90$ г/мл, а формула Брожека базируется на понятии условного человека с заданной плотностью и составом тела и не использует напрямую оценку $П_{БМТ}$. Плотность тела условного человека принимается равной 1,064 г/мл. В пределах значений плотности тела от 1,03 до 1,09 г/мл формулы Сири и Брожека дают высококоррелированные и практически совпадающие оценки $\%ЖМТ$ (различия не превышают 0,5–1% $\%ЖМТ$), однако в случае индивидов с выраженным истощением или ожирением разность оценок $\%ЖМТ$ на основе этих двух формул увеличивается, а более точной оказывается формула Брожека [цит. по: (Roche et al., 1996)].

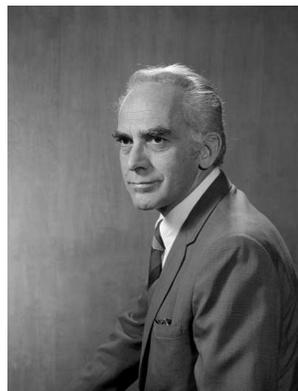
Из формулы (1.4) следует, что для получения надёжной оценки $\%ЖМТ$ необходимо знать плотность безжировой массы тела с высокой точностью, так как в знаменателе первого сомножителя правой части (1.4) стоит разность двух близких величин: $П_{БМТ}$ и $П_{ЖМТ}$. Например, легко вычислить, что 1%-ная относительная погрешность задания плотности безжировой массы тела $П_{БМТ}$ (что соответствует 0,011 г/мл) приводит к 3,5–4%-ной относительной ошибке определения $\%ЖМТ$!

⁶Вильям Сири (1919–2004) — американский физиолог и биофизик. С 1943 по 1945 гг. принимал участие в Манхэттенском проекте. Впоследствии — ведущий специалист национальной лаборатории им. Беркли. Один из основоположников науки о составе тела. Известный альпинист. Участник и соруководитель первого успешного американского восхождения на Эверест.

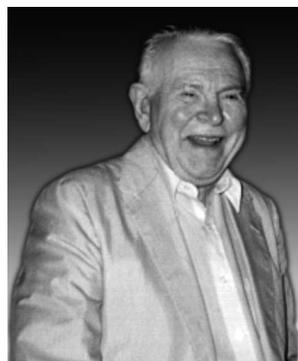
⁷Йозеф Брожек (1913–2004) — чешский и американский антрополог. Один из основоположников науки о составе тела. Некоторые его работы опубликованы на русском языке [см., например, (Брожек, 1960)].

Согласно немногочисленным анатомическим данным, стандартное отклонение плотности безжировой массы индивидов от среднепопуляционных значений составляет 0,01 г/мл (Bakker, Struikema, 1977), что объясняется естественной вариацией состава и плотности БМТ. Поэтому желательно иметь специфические формулы двухкомпонентной модели состава тела для популяций, сравнительно однородных относительно признаков, влияющих на величину П_{БМТ}. С учётом этого были предложены формулы для разных возрастных групп в зависимости от пола и этнической принадлежности. Формулы на основе измерения плотности тела, используемые для оценки состава тела у индивидов белой расы различного пола и возраста, приводятся в табл. 1.1, где также показаны средние значения плотности безжировой массы.

Примером метода изучения состава тела на основе оценки плотности тела является *гидростатическая денситометрия* (ГД). Для этого проводится измерение веса тела в воде и в обычных условиях (п. 3.1). Ошибка определения ЖМТ на основе ГД при повторных измерениях, выполненных одним и тем же специалистом, составляет около 2,5%. До недавнего времени гидростатическая денситометрия считалась основным эталонным методом (“золотым стандартом”) определения состава тела в двухкомпонентной модели. К недостаткам ГД относятся большая длительность процедуры измерений (от 45 мин. до 1 часа), стационарность метода, а также относительно высокая стоимость оборудования. Необходимость полного погружения для измерения веса тела в воде снижает возможности применения метода у детей, а также у пожилых и больных людей.



В. Сири⁸



Й. Брожек

⁸Фотография предоставлена кабинетом архивных фотоизображений Национальной лаборатории им. Лоуренса Беркли, США. Публикуется с разрешения.

Таблица 1.1. **Формулы для оценки %ЖМТ в зависимости от пола и возраста (Heuward, Stolarczyk, 1996)**

Возраст, лет	Пол	%ЖМТ	П _{БМТ} , г/мл
7–12	м	(5,30/ПТ) – 4,89	1,084
	ж	(5,35/ПТ) – 4,95	1,082
13–16	м	(5,07/ПТ) – 4,64	1,094
	ж	(5,10/ПТ) – 4,66	1,093
17–19	м	(4,99/ПТ) – 4,55	1,098
	ж	(5,05/ПТ) – 4,62	1,095
20–80	м	(4,95/ПТ) – 4,50	1,100
	ж	(5,01/ПТ) – 4,57	1,097

Альтернативой гидростатической денситометрии является *воздушная плетизмография* (ВП) (п. 3.2). Измерения проводят в жёсткой герметичной кабине, заполненной обычным воздухом. Современные устройства для обследования взрослых людей (BOD POD) и грудных детей (PEA POD), были разработаны компанией *Life Measurement Instruments* (США) в 1994 и 2002 году, соответственно. Длительность процедуры измерений составляет от 2-х до 5 мин. При проведении клинических испытаний устройства BOD POD был выявлен более низкий разброс результатов последовательных измерений по сравнению с методом ГД, а разность средних значений %ЖМТ на основе этих двух методов составила 0,3%. Перечисленное позволяет рассматривать ВП в качестве эталонного метода двухкомпонентной модели состава тела. Однако высокая стоимость устройства (около 35 тыс. долл.) затрудняет возможность широкого внедрения метода. В России аналогичных приборов пока нет. Более подробная характеристика методов изучения состава тела, основанных на оценке плотности тела, имеется в главе 3.

Другая возможность определения состава тела в двухкомпонентной модели связана с оценкой содержания воды в организме. *Общая вода организма* (ОВО) — это наибольшая по массе составляющая безжировой массы тела. Процентное содержание воды в организме у детей и подростков увеличивается в ходе развития, стабильно у взрослых людей и снижается к старости (Ellis, Wong, 1998). По определению (см. стр. 19), содержание воды в жировой массе тела равно нулю.⁹ Эталонным методом измерения об-

⁹Обсуждение различий между понятиями жировой массы тела и массы жировых тканей приводится на стр. 73.

шей воды организма (ОВО) считается *метод изотопного разведения* с использованием трития, дейтерия или H_2^{18}O (п. 4.1). Оценка БМТ получается при предположении о постоянстве относительного содержания ОВО в БМТ: чаще всего используется значение $\text{ОВО/БМТ} = 0,732$ л/кг (Forbes et al., 1962). Жировая масса тела вычисляется затем как разность между массой тела и безжировой массой тела по формуле Н. Пейса и Э. Ратбун (Pace, Rathbun, 1945):

$$\text{ЖМТ} = \text{МТ} - \text{БМТ} = \text{МТ} - \text{ОВО}/0,732. \quad (1.7)$$

В отличие от методов ГД и ВП, метод изотопного разведения можно использовать в полевых условиях, однако в этом случае получаемые образцы физиологических жидкостей, как правило, отправляют в специальную лабораторию для последующего химического анализа, и таким образом вся процедура может занимать несколько дней. Другие недостатки связаны с воздействием на организм небольшой дозы радиации (в случае трития), а также с высокой стоимостью обследования (при использовании H_2^{18}O).

Основным источником погрешности метода изотопного разведения является предположение о постоянстве относительного содержания воды в БМТ. Поэтому у индивидов с предполагаемыми нарушениями гидратации использовать метод не рекомендуется. Для оценки содержания воды в организме также применяются биоэлектрические методы. Один из таких методов, имеющий название *биоимпедансного анализа* (п. 4.2), является оперативным и широко используется для определения состава тела в полевых условиях, а также в клинической и амбулаторной практике.

Рассмотренная двухкомпонентная модель ($\text{МТ} = \text{ЖМТ} + \text{БМТ}$) соответствует *молекулярному* уровню строения тела. Физиологическая интерпретация получаемых результатов в этом случае затруднена ввиду неоднородности состава липидов и безжировой массы. С учётом этого американский врач Альберт Бенке ввёл в употребление 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):

$$\text{МТ} = \text{МНЖ} + \text{ТМТ}, \quad (1.8)$$

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 впоследствии 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 трёх- и четырёхкомпонентные модели, основанные на дополнительных измерениях одной или двух составляющих БМТ, соответственно.

1.2.2. Трёхкомпонентные модели

На рис. 1.5 показаны две наиболее распространённые трёхкомпонентные модели состава тела. В одной из них (рис. 1.5, слева) безжировая масса тела представлена как сумма общей воды организма (ОВО) и сухой массы тела без жира (СМТБЖ):

$$MT = ЖМТ + БМТ = ЖМТ + ОВО + СМТБЖ. \quad (1.9)$$

Имеем следующее тождество:

$$V = V_{ЖМТ} + V_{ОВО} + V_{СМТБЖ}, \quad (1.10)$$

где, как и ранее, V — объём тела, $V_{ЖМТ}$ — объём жировой массы, а $V_{ОВО}$ и $V_{СМТБЖ}$ — объём ОВО и СМТБЖ, соответственно. Перепишем это равенство в виде

$$\frac{MT}{PT} = \frac{ЖМТ}{П_{ЖМТ}} + \frac{ОВО}{П_{ОВО}} + \frac{СМТБЖ}{П_{СМТБЖ}}, \quad (1.11)$$

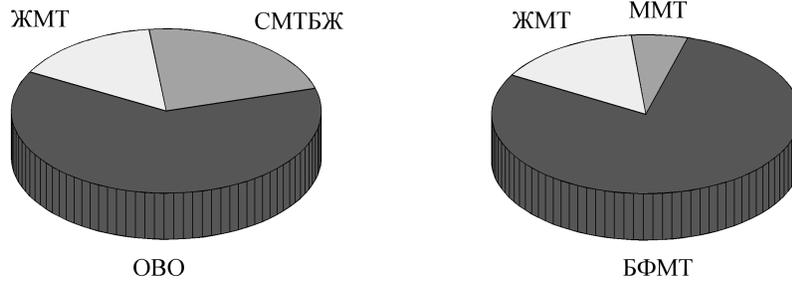


Рис. 1.5. Трёхкомпонентные модели состава тела. На диаграмме слева масса тела представлена в виде суммы жировой массы тела (ЖМТ), общей воды организма (ОВО) и сухой массы тела без жира (СМТБЖ), на диаграмме справа — как сумма жировой массы тела (ЖМТ), минеральной массы тела (ММТ) и безжировой фракции мягких тканей (БФМТ). Относительные размеры секторов соответствуют данным по условному человеку (см. табл. 1.2 на стр. 29 и приложение 3)

где $P_{ОВО}$ — плотность ОВО, $P_{СМТБЖ}$ — плотность СМТБЖ. Путём соответствующих преобразований получаем выражение для процентного содержания жира в организме:

$$\%ЖМТ = P_{ЖМТ} \left(\frac{1}{ПТ} - \frac{ОВО/МТ}{P_{ОВО}} - \frac{СМТБЖ/МТ}{P_{СМТБЖ}} \right) \times 100. \quad (1.12)$$

Измеряемыми величинами здесь являются масса тела, плотность тела и общая вода организма (ОВО). Формулы трёхкомпонентной модели получаются, если задать конкретные значения $P_{ЖМТ}$, $P_{ОВО}$, $P_{СМТБЖ}$ и зафиксировать соотношение ОВО/СМТБЖ.

Формула Сири трёхкомпонентной модели состава тела имеет следующий вид (Siri, 1961):

$$\%ЖМТ = [2,118/ПТ - 0,78 \times (ОВО/МТ) - 1,354] \times 100, \quad (1.13)$$

где ПТ — плотность тела (г/мл), ОВО — общая вода организма (л), а МТ — масса тела (кг). Как и в двухкомпонентной модели, для измерения плотности тела обычно используются методы ГД и ВП, а для измерения ОВО — метод изотопного разведения.

Другая трёхкомпонентная модель состава тела имеет вид, показанный на рис. 1.5 справа:

$$МТ = ЖМТ + ММТ + БФМТ, \quad (1.14)$$

где ММТ — минеральная масса тела, а БФМТ — безжировая фракция мягких тканей (ср. с (1.9)). Соответствующая формула трёхкомпонентной модели для вычисления %ЖМТ, которая выводится аналогично (1.13), имеет следующий вид (Lohman, 1986):

$$\%ЖМТ = [6,386/ПТ - 3,961 \times (ММТ/МТ) - 6,090] \times 100, \quad (1.15)$$

где плотность тела измеряется в граммах на миллилитр, а масса тела и минеральная масса тела — в килограммах. Для определения минеральной массы тела обычно применяются *радиоизотопные или рентгеновские методы* (п. 4.6).

В. Сири установил, что суммарная погрешность определения жировой массы вследствие естественной вариации содержания и плотности различных компонент безжировой массы тела составляет для общей популяции около 3,9%ЖМТ, что соответствует вариации плотности безжировой массы на уровне 0,0084 г/мл [цит. по (Roche et al., 1996)]. Эти данные хорошо согласуются с приведённой выше анатомической оценкой 0,01 г/мл (Bakker, Struikenkamp, 1977). Поэтому использование трёхкомпонентных моделей для характеристики популяций здоровых взрослых людей и подростков позволяет несколько улучшить точность оценки %ЖМТ.

1.2.3. Четырёхкомпонентные модели

У пациентов с нарушенным балансом жидкости в организме или изменённой минеральной массой тела трёхкомпонентные 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 (диаграмма слева на рис. 1.6):

$$МТ = ЖМТ + ОВО + ММТ + МО, \quad (1.16)$$

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

Отметим, что трёхкомпонентные модели состава тела получаются из рассматриваемой четырёхкомпонентной модели, если объединить минеральную массу тела с массой остатка, что даёт сухую обезжиренную массу (СМТБЖ = ММТ + МО), или, в другом

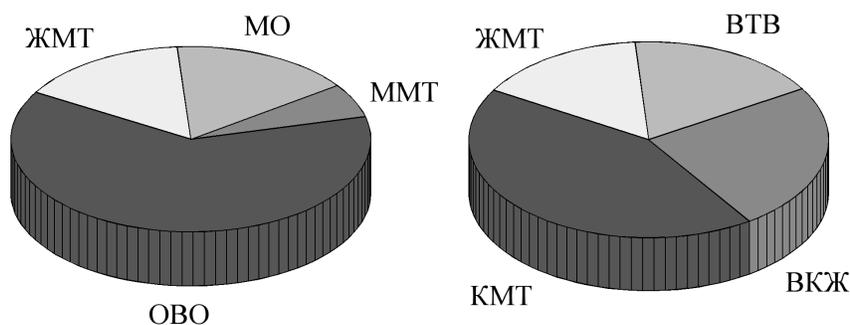


Рис. 1.6. Четырёхкомпонентные модели состава тела. На диаграмме слева масса тела представлена в виде суммы жировой массы тела (ЖМТ), общей воды организма (ОВО), минеральной массы тела (ММТ) и массы остатка (МО), на диаграмме справа — как сумма жировой массы тела (ЖМТ), клеточной массы тела (КМТ), массы внеклеточной жидкости (ВКЖ) и массы внеклеточных твёрдых веществ (ВТВ). Относительные размеры секторов соответствуют данным по условному человеку (см. табл. 1.2 и прил. 3)

Таблица 1.2. **Композиция условного тела по Брожеку (Brozek et al., 1963; Roche et al., 1996)**

Компоненты	Плотность, г/мл	Безжировая масса тела, %	Условное тело, %
Вода	0,9937	73,8	62,4
Белок	1,34	19,4	16,4
Минералы	3,038	6,8	5,9
В костной ткани	2,982	5,6	4,8
В остальных тканях	3,317	1,2	1,1
Жировая масса тела (ЖМТ)	0,9007		15,3
Безжировая масса тела (БМТ)	1,100	100	84,7
Условное тело	1,064		100

случае, — содержание воды в организме с массой остатка, что даёт безжировую фракцию мягких тканей (БФМТ = ОВО + МО). Если же объединить ОВО и ММТ, то получается альтернативная трёхкомпонентная модель состава тела, которая практически не используется ввиду трудностей определения белковой фракции *in vivo* (Lohman et al., 1996).

Базовое соотношение для оценки %ЖМТ в рассматриваемой четырёхкомпонентной модели выводится аналогично формуле (1.12). Оно имеет следующий вид:

$$\%ЖМТ = P_{ЖМТ} \left(\frac{1}{PТ} - \frac{ОВО/МТ}{P_{ОВО}} - \frac{ММК/МТ}{P_{ММК}} - \frac{МО/МТ}{P_{О}} \right) \times 100, \quad (1.17)$$

где $P_{ММК}$ — плотность костных минералов, а $P_{О}$ — плотность остатка, т.е. белковой фракции и минеральных веществ мягких тканей. Измеряются четыре показателя: масса и плотность тела (МТ, ПТ), содержание воды в организме (ОВО), а также минеральная масса костей (ММК). Величины $P_{ЖМТ}$, $P_{ОВО}$, $P_{ММК}$, $P_{О}$, а также соотношение $ММК/МО$ считаются известными. Имеется около 15 формул четырёхкомпонентной модели для оценки %ЖМТ. При их построении в большинстве случаев использованы данные Брожека, приведённые в табл. 1.2 (Brozek et al., 1963). Примеры таких формул (Selinger, 1977; Baumgartner, 1991):

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = [2,747/PТ - 0,714 \times (ОВО/МТ) \\ + 1,146 \times (ММК/МТ) - 2,037] \times 100, \quad (1.18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = [2,747/PТ - 0,7175 \times (ОВО/МТ) \\ + 1,148 \times (ММК/МТ) - 2,050] \times 100. \quad (1.19) \end{aligned}$$

Основная неопределённость оценки %ЖМТ на основе формул четырёхкомпонентной модели связана с естественной вариацией отношения белок/минеральная масса тела, так как надёжная оценка общей массы белка в организме *in vivo* возможна лишь при измерении содержания азота методом *нейтронного активационного анализа* (п. 4.5), доступным лишь в нескольких лабораториях мира (см. формулу для M_N в табл. 1.5). Поэтому, как правило, используется предположение о постоянстве указанного отношения. Однако даже при мониторинге краткосрочных изменений жировой массы под действием физической нагрузки или изменения режима питания клеточная и белковая масса тела могут испытывать колебания (Vaswani et al., 1983).

Существует четырёхкомпонентная модель, не требующая измерения плотности тела. В этой модели БМТ рассматривается в виде суммы трёх компонент: клеточной массы тела, а также массы внеклеточной жидкости и внеклеточных твёрдых веществ (правая диаграмма на рис. 1.6):

$$МТ = ЖМТ + КМТ + ВКЖ + ВТВ, \quad (1.20)$$

Таблица 1.3. Характеристика качества оценки состава тела на основе прогнозирующих формул калиперометрии, антропометрии и биоимпедансного анализа по величине среднеквадратической погрешности (*SEE*) (Lohman, 1992; Heyward, 2000)

<i>SEE</i> %ЖМТ	<i>SEE</i> ПТ, г/мл	<i>SEE</i> БМТ, кг		Качество оценки
м+ж	м+ж	м	ж	
2,0	0,0045	2,0–2,5	1,5–1,8	Идеальное
2,5	0,0055	2,5	1,8	Отличное
3,0	0,0070	3,0	2,3	Очень хорошее
3,5	0,0080	3,5	2,8	Хорошее
4,0	0,0090	4,0	3,2	Довольно хорошее
4,5	0,0100	4,5	3,6	Удовлетворительное
5,0	0,0110	>4,5	>4,0	Плохое

где КМТ — клеточная масса тела, ВКЖ — внеклеточная жидкость, а ВТВ — внеклеточные твёрдые вещества. Клеточную массу тела можно оценить по общему содержанию калия методом разведения природных или искусственно синтезированных радиоактивных изотопов ^{40}K и ^{42}K (Moore et al., 1963), а также *методом определения естественной радиоактивности всего тела* (п. 4.4) (Бондаренко, Каплан, 1978). Для измерения объёма внеклеточной жидкости используются методы разведения бромистого и меченого хлористого натрия, тиоцианата, тиосульфата, инсулина и других веществ (Edelman et al., 1952; Gamble et al., 1953; Edelman, Leibman, 1959; Schoeller, 1996, 2005). Содержание внеклеточных твёрдых веществ можно определить по общему кальцию или по минеральной массе костей (Cohn et al., 1980; Snyder et al., 1984). Безжировая масса тела вычисляется как сумма КМТ, ВКЖ и ВТВ, а содержание жира определяется вычитанием БМТ из МТ. Недостаток этой модели заключается в том, что ошибка оценки БМТ является суммой погрешностей измерений её отдельных компонент, что ведёт к значительной погрешности итоговой оценки жировой массы (Ellis, 2000).

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; Heymsfield et al., 2005).

Принято считать, что прогнозирующая формула для оценки состава тела является “хорошей”, если выполняются следующие условия (Heyward, 2000):

1. Данная формула получена на основе адекватного эталонного метода с использованием достаточно большой случайной выборки ($n > 100$);
2. Результаты оценки состава тела с использованием этой формулы имеют высокую корреляцию с “эталонными” значениями ($r > 0,8$);
3. Такая формула должна пройти перекрёстную проверку на независимой выборке;
4. Среднеквадратическая погрешность оценки состава тела должна быть достаточно мала (табл. 1.3).

Говоря о четырёхкомпонентных моделях, нельзя не упомянуть об одной из первых теоретических моделей состава тела, предложенной 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:

$$MT = ПЖТ + СММ + СМ + МО. \quad (1.21)$$

Таким образом, 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:

$$\begin{aligned} ПЖТ &= 0,065 \times (d/6) \times S, \\ СММ &= 6,5 \times r^2 \times ДТ, \\ СМ &= 1,2 \times Q^2 \times ДТ, \\ МО &= 0,206 \times МТ, \end{aligned} \quad (1.22)$$

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). При последующем вычислении массы жировой ткани (МЖТ) обычно предполагается, что масса подкожной жировой ткани (ПЖТ) составляет половину от общей (см. п. 2.2).

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 (1.22). 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).

С появлением классической двухкомпонентной модели состава тела молекулярного уровня интерес к модели Матейки стал постепенно угасать. В связи с недавним развитием эталонных методов определения состава тела тканевого уровня, таких как рентгеновская компьютерная и магнитно-резонансная томография, представляет интерес дальнейшее изучение надёжности формул Матейки для различных популяций.

1.2.4. Пятиуровневая многокомпонентная модель

Значительный сдвиг в организации и планировании исследований состава тела человека произошёл с появлением пятиуровневой многокомпонентной модели состава тела, в которой выделяют свыше 30 основных компонент (Wang et al., 1992; Heymisfield et al., 2005) (табл. 1.4). В отличие от других моделей, строение тела рассматривается здесь на всех уровнях его организации: *элементарном, молекулярном, клеточном, тканевом* и на *уровне организма в целом*. В рамках такого подхода рассмотренные выше модели, задаваемые формулами (1.1), (1.8), (1.9), (1.14) и (1.16), относятся к молекулярному уровню многокомпонентной модели, а формулами (1.20) и (1.21) — к клеточному и тканевому уровню, соответственно. Ниже приводится краткая информация о различных уровнях строения тела с характеристикой соответствующих методов оценки состава тела.

Таблица 1.4. **Пятиуровневая многокомпонентная модель состава тела (Wang et al., 1992; Heymisfield et al., 2005)**

Уровень организации	Компоненты
Элементный	О, С, Н, N, Са, Р, S, К, 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

Элементный уровень. Основной строительный материал любого организма — это химические элементы. Из более чем 100 встречающихся в природе химических элементов в организме человека обнаружено около 50, многие из них выполняют важные биологические функции и участвуют в обменных процессах (Эмсли, 1993; Heymisfield et al., 1997; Скальный, 2004). Наиболее распространённые химические элементы в организме человека — это кислород, углерод, водород и азот, суммарное содержание которых составляет примерно 95% массы тела. Относительная масса этих и семи других элементов, перечисленных в табл. 1.4, превышает 99,5% массы тела. Эталонным методом оценки элементного состава тела *in vivo* является *нейтронный активационный анализ* (п. 4.5). Содержание калия можно также оценить *методом определения естественной радиоактивности всего тела* (п. 4.4). Кроме того, для оценки содержания нескольких химических элементов используется *метод разведения* (п. 4.1).

Альтернативная возможность оценки элементного состава тела связана с измерением содержания химических элементов в образцах биологических жидкостей и тканей. Краткое описание теоретических и прикладных аспектов оценки элементного состава тела на основе анализа биосубстратов человека можно найти в работе (Скальный, 2004).

Некоторые соотношения между содержанием в организме химических элементов приведены в табл. 1.5. Наиболее устойчивые соотношения имеют место для таких элементов, которые образу-

ют в организме человека *естественные химические соединения*. Такие соотношения служат основой для разработки эталонных методов определения состава тела (Wang et al., 1992). Например, известно, что свыше 99% кальция в организме находится в костной ткани в составе соединения $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]_3\text{Ca}(\text{OH})_2$, имеющего название гидроксиапатит кальция. Поэтому измерение общего содержания кальция даёт надёжную оценку минеральной массы костей. Процентное содержание минеральных веществ в костной ткани весьма стабильно как в норме, так и при ряде заболеваний.

Относительные массовые доли элементов, не образующих химические связи, могут быть сравнительно устойчивы в нормальном состоянии, но изменяться при заболеваниях. Например, содержание калия в клеточной жидкости в норме стабильно, но изменяется в случае нарушений водно-электролитного баланса. Отсюда следует практически значимый вывод: у пациентов с почечной недостаточностью, больных СПИДом и при других заболеваниях, связанных с нарушениями водно-электролитного баланса, для оценки содержания клеточной жидкости и клеточной массы тела не следует использовать методы, основанные на измерении калия (Hejmsfield et al., 1997).

Устойчивые соотношения между различными компонентами состава тела имеют название *инвариантов состава тела*. Их выявление и анализ является важной задачей науки о составе тела (Wang et al., 1992).

Молекулярный уровень. Молекулярный уровень состава тела представлен компонентами, имеющими важное физиологическое и медицинское значение (табл. 1.4). Это прежде всего вода, липиды, безжировая масса, белки, углеводы и минеральные вещества. Кроме того, рассматриваются отдельные составляющие перечисленных компонент — например, триглицериды и фосфолипиды жировой массы. У человека триглицериды служат в качестве запасаемого энергетического ресурса, а остальные липиды участвуют в других жизненно важных физиологических процессах.

Основу биологических жидкостей составляет вода с растворёнными в ней электролитами. Ключевая функция жидких сред организма — транспорт и обмен веществ. Выделяют два основных водных сектора: клеточная и внеклеточная жидкость. Внеклеточная жидкость в основном состоит из плазмы крови, лимфы и интерстициальной жидкости. При делении жидкой фракции тела на клеточную и внеклеточную к последней также относят внутриглазную, синовиальную и спинномозговую жидкость (Valentin, 2002).

В организме человека имеется множество разнообразных белковых соединений. Однако в настоящее время возможна оценка лишь *общего содержания* белков, а также их мышечной и внесмышечной фракции (Heuymfield et al., 1997).

Углеводы представлены, главным образом, гликогеном, который содержится в клетках мышц и печени. Общая масса гликогена в организме взрослого человека составляет около 1 кг. Основная информация о содержании гликогена в различных тканях организма была получена на основе биопсийных данных. Недавнее появление метода магнитно-резонансной спектроскопии открыло возможности для неинвазивной оценки содержания в организме углеводов, в том числе при решении задач мониторинга состава тела.

Минеральные вещества составляют около 5% массы тела и содержатся как в костных, так и в мягких тканях.

При разработке моделей состава тела несколько компонент молекулярного уровня обычно объединяются в одну составляющую (как, например, в классической двухкомпонентной модели). Из вариантов состава тела в таких моделях обычно используется предположение о постоянной плотности различных компонент состава тела (например, жировой и безжировой массы), а также о постоянстве гидратации безжировой массы или содержания калия в БМТ (см. п. 1.2.1).

В зависимости от целей и задач исследования эталоном для оценки содержания различных компонент состава тела молекулярного уровня могут служить гидростатическая денситометрия, методы разведения, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, а также сочетания методов, обычно используемые в трёх- и четырёхкомпонентных моделях.

Клеточный уровень. Клеточный уровень строения тела характеризуется содержанием в организме клеток различных типов (включая адипоциты — клетки жировой ткани), клеточной массой тела, массой клеточной и внеклеточной жидкости, а также содержанием внеклеточных твёрдых веществ.

Одна из важнейших компонент состава тела данного уровня — это клеточная масса тела (КМТ), иногда также называемая активной клеточной массой. Понятие клеточной массы тела было введено Ф. Муром для обозначения совокупности тех клеток организма, которые потребляют основную часть кислорода и энергии, выделяют основную часть углекислого газа и производят метаболическую работу (Moore et al., 1963). КМТ содержит 98–99% всего калия в организме. К КМТ относятся клетки печени, почек, сердца, скелет-

ной и гладкой мускулатуры, нервной и паренхиматозной тканей, а также клетки других органов и тканей, содержащих калий в такой же концентрации (Бондаренко, Каплан, 1978). Понятие КМТ объединяет те компоненты состава тела, которые подвержены наибольшим изменениям под действием питания, болезней и физических нагрузок. Из практических соображений оно не включает клетки соединительной ткани, костей скелета и черепа, а также других тканей с низкой скоростью обменных процессов (Forbes, 1987).

КМТ состоит из клеточной жидкости и твёрдых веществ. Методов оценки содержания твёрдых веществ в клетках *in vivo* пока не существует. В качестве эталона для оценки содержания клеточной жидкости рассматривается метод определения естественной радиоактивности всего тела. При этом массовая доля калия в клеточной жидкости считается постоянной. Кроме того, предполагается заданным отношение масс клеточной жидкости и твёрдых веществ.

Внеклеточная масса содержит около 2% общего калия и состоит из внеклеточной жидкости (ВКЖ) и внеклеточных твёрдых веществ (ВТВ). Эталонами для оценки массы внеклеточной жидкости являются методы разведения бромистого и хлористого натрия.

Тканевой уровень. Тканевой уровень строения тела представлен скелетно-мышечной, жировой и костной тканями, а также другими тканями и внутренними органами. Эталонными методами определения состава тела на тканевом уровне являются компьютерная и магнитно-резонансная томография, позволяющие получать объёмную реконструкцию тела человека. Масса тканей и внутренних органов вычисляется на основе оцененных значений их объёма. Существует проблема интерпретации результатов оценки состава тела при переходе с тканевого на элементный и молекулярный уровень. Она заключается в том, что при многих заболеваниях химический состав тканей может изменяться даже при относительном постоянстве их объёма. Кроме того, относительное содержание липидов в жировых тканях варьирует в зависимости от процентного содержания жира и других факторов, что затрудняет сопоставление результатов с классической двухкомпонентной моделью состава тела.

Уровень организма в целом. Для характеристики организма в целом используются различные методы, к числу которых относятся антропометрия, подводное взвешивание, волюминометрия, метод воздушной плетизмографии и фотонное сканирование.

Таблица 1.5. **Некоторые взаимосвязи между различными уровнями многокомпонентной модели состава тела (Wang et al., 1992; Neumsfield, Wang, 1997; Ellis, 2000). Все величины измеряются в килограммах**

$$\begin{aligned}
 M_C &= 0,774 \times \text{ЖМТ} \\
 M_C &= 0,759 \times \text{ЖМТ} + 0,532 \times \text{Белок} + 0,018 \times \text{ММК} \\
 M_{Ca} &= 0,340 \times \text{ММК} \\
 M_K &= 0,00469 \times \text{КМТ} \\
 M_K &= 0,00266 \times \text{БМТ} \\
 M_N &= 0,161 \times \text{Белок} \\
 M_P &= 0,456 \times M_{Ca} + 0,555 \times M_K \\
 M_S &= 0,062 \times M_N \\
 M_S &= 0,010 \times \text{Белок} \\
 \text{Гликоген} &= 0,044 \times \text{Белок} \\
 \text{ЖМТ} &= 1,318 \times M_C - 4,353 \times M_N - 0,070 \times M_{Ca} \\
 \text{ММТ} &= 2,75 \times M_K + M_{Na} + 1,43 \times M_{Cl} - 0,038 \times M_{Ca} \\
 \text{ОВО} &= 0,732 \times \text{БМТ}
 \end{aligned}$$

Параметры, измеряемые для оценки состава тела, первоначально относились к противоположным концам представленного в табл.1.4 спектра уровней строения тела. Например, методы разведения радиоактивных изотопов калия (^{40}K) и определения естественной радиоактивности всего тела служат для описания элементного уровня, а плотность и объём тела, измеряемые при помощи подводного взвешивания и метода воздушной плетизмографии, являются характеристиками всего организма. С развитием биофизических методов растёт количество измеряемых показателей на промежуточных уровнях строения тела. В табл.1.5 приводятся соотношения, характеризующие взаимосвязь различных уровней многокомпонентной модели. Существуют *гибридные* модели, использующие результаты измерений параметров, относящихся к различным уровням строения тела.

Наиболее устойчивые соотношения между компонентами состава тела наблюдаются для естественных химических соединений организма. Поэтому исследование состава тела имеет смысл начинать с элементного или молекулярного уровня. Это позволяет свести к минимуму количество дополнительных предположений (о плотности, структуре, соотношениях массовых долей компонент состава тела, состоянии водного обмена и т. п.), используемых при построении соответствующих формул. Изучение элементного профиля состава тела *in vivo* часто даёт больше информации по сравнению с классическими методами весовой химии.

Таблица 1.6. **Вариант классификации методов определения состава тела *in vivo***

Антропометрические методы	<ul style="list-style-type: none"> • Биоэлектрические • Инфракрасного отражения
<ul style="list-style-type: none"> • Индексы массы тела • Калиперометрия 	<ul style="list-style-type: none"> • Определение естественной радиоактивности всего тела
Физические методы	<ul style="list-style-type: none"> • Нейтронный активационный анализ
<ul style="list-style-type: none"> • Подводное взвешивание • Волюминометрия • Воздушная плетизмография • Фотонное сканирование 	<ul style="list-style-type: none"> • Радионуклидные и рентгенологические
Биофизические методы	<ul style="list-style-type: none"> • Ультразвуковые • Магнитно-резонансная томография и спектроскопия

1.3. О классификации методов

Существуют различные способы классификации методов определения состава тела *in vivo*: 1) по принципам построения методов (антропометрические, физические, биофизические); 2) по условиям их применения (полевые, амбулаторные, клинические и обслуживающие фундаментальные исследования); 3) по измеряемым показателям (денситометрия, волюминометрия, гидрометрия и др.). В этой книге мы воспользовались первым из указанных способов классификации. Структура её отражена в оглавлении и показана в табл. 1.6. В связи с тем, что нашей задачей является описание технологий и методов определения состава тела *in vivo*, химические методы исследования мы рассматривать не будем.

На рис. 1.7 показана наша оценка динамики общего количества единиц оборудования различных методов, применяемых для изучения состава тела. Эта эмпирическая оценка основана на неполных данных. На рис. 1.7 видно, что до начала 1980-х годов приборный парк для оценки состава тела состоял, главным образом, из устройств для антропометрических измерений и подводного взвешивания (линии 1 и 2). Дальнейший период характеризуется развитием биофизических методов, включая биоимпедансный анализ (3), метод инфракрасного отражения (4), воздушную плетизмографию (5), рентгеновскую денситометрию (6) и компьютерную томографию (7). Аналогичными темпами развивается производство

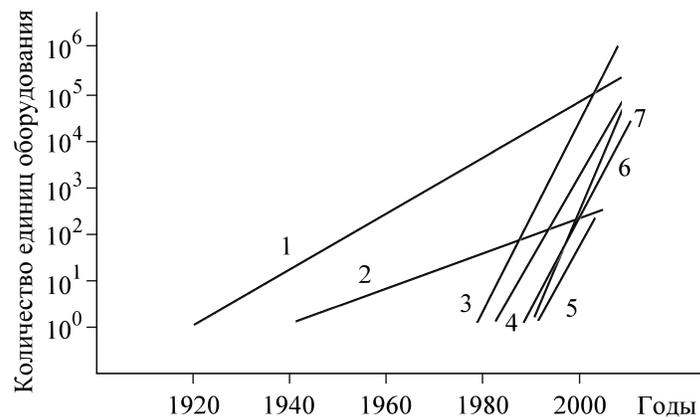


Рис. 1.7. Оценка динамики численности единиц оборудования различных методов, используемых для определения состава тела (см. описание в тексте)

Таблица 1.7. Основные характеристики состава тела, оцениваемые с использованием различных методов

	ЖМТ	БМТ	ОВО	ВКЖ	КЖ	КМТ	ММТ
<i>Амбулаторные и полевые методы</i>							
Антропометрия	+	+					
Калиперометрия	+	+					
ИК-отражение	+	+					
Одночастотный БИА	+	+	+		+		+
Многочастотный БИА	+	+	+	+	+		+
<i>Методы, применяемые в клинических и научных исследованиях</i>							
Гидроденситометрия	+	+					
Воздушная плетизмография	+	+					
РКТ, МРТ	+	+					
Метод разведения индикаторов				+	+	+	
Рентгеновская денситометрия	+	+					+

оборудования для магнитно-резонансной томографии и ультразвуковых методов (данные не приводятся).

В табл. 1.7 перечислены основные характеристики состава тела, оцениваемые с использованием разных методов.

Глава 2

Антропометрические методы

Зачем умным цветы? Дай им волю, и они будут изучать их длину, массу и объём.

Цитата из к/ф *Приключения Гулливера* по мотивам одноимённого романа Дж. Свифта

Среди оперативных полевых методов определения состава тела человека наибольшей популярностью в мировой практике пользуются антропометрические методы, а в последние годы с успехом применяется биоимпедансный анализ. История применения антропометрии для определения состава тела насчитывает без малого 85 лет и, по-видимому, берёт начало в работе Й. Матейки, предложившего в 1921 г. формулы для определения количества жировой, мышечной и костной ткани *in vivo* на основе измерения толщины кожно-жировых складок (см. п. 2.2). Прежде чем перейти к описанию антропометрических методов исследования состава тела, рассмотрим вкратце предмет и задачи антропометрии и дадим характеристику оборудования, используемого для проведения измерений.

Антропометрией называют совокупность методологических приёмов в антропологическом исследовании для измерения (соматометрия) и/или описания (антропоскопия) тела человека в целом или отдельных его частей, а также для характеристики их изменчивости. В рамках антропометрии выделяют отдельные направления, связанные с измерением костей скелета и черепа (остеометрия, краниометрия).

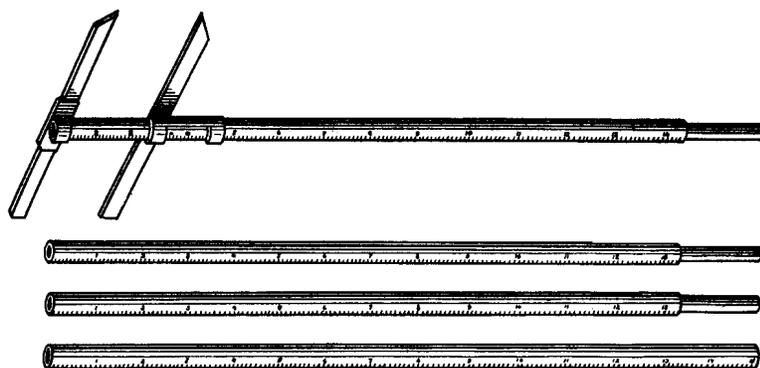


Рис. 2.1. Металлический штанговый антропометр Мартина в разобранном виде

Для получения объективных результатов антропометрических измерений требуется хорошее знание анатомии человека, локализации основных измерительных точек скелета (выступов костей, бугров, гребней, краёв эпифизов и др.), определённых складок кожи, специфических кожных образований (грудных сосков и т. д.) и областей на поверхности тела (надключичной, подключичной, грудной, грудинной, пупочной и др.). Хорошей воспроизводимости результатов измерений можно добиться лишь при строгом соблюдении методических рекомендаций и использовании специального оборудования. Нарушение требований стандартизации при проведении антропометрического обследования приводит к несопоставимым результатам.

К количественным признакам, чаще используемым в физической антропологии, относятся *тотальные размеры тела*. Выделяют *весовые* (масса тела) и *пространственные* размеры тела: *линейные* (длина тела, периметр грудной клетки), *объёмные* (объём тела) и *поверхностные* (площадь поверхности тела). Кроме того, изучают *соотношения* тотальных размеров тела. В популяционных исследованиях, спортивной антропологии и эргономике дополнительно определяют пропорции тела, продольные целые и частичные размеры сегментов тела, площадь их поверхности, объём, локализацию масс, а также соотношение размеров сегментов тела, ориентированных в различных плоскостях и измеряемых различными физическими величинами.

При определении состава тела на основе антропометрических методов используют как тотальные размеры тела (масса, длина и

площадь поверхности тела), так и обхватные и скелетные размеры частей тела и сегментов конечностей, а также измеряют толщину кожно-жировых складок на определённых участках тела. Антропометрические измерения выполняют при помощи специальных инструментов: антропометра, толстотного и скользящего циркуля, циркуля-калипера, ленты и др. Продольные размеры тела определяют антропометром (рис. 2.1–2.3), поперечные размеры тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях — большим толстотным циркулем с согнутыми или прямыми ножками (рис. 2.4), а также большим и малым штанговым или скользящим циркулем. Обхватные размеры тела измеряют сантиметровой лентой. Программа антропометрического обследования может включать измерение толщины кожно-жировых складок при помощи специальных устройств — калиперов (см. п. 2.2).

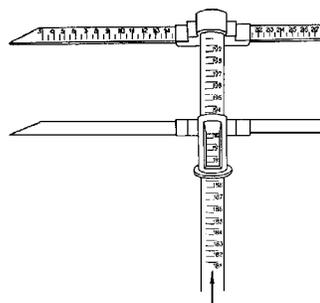


Рис. 2.2. Головная часть антропометра Мартина

Измерения с помощью антропометра, скользящего или штангового циркулей производят с точностью до 1 мм. Измерения сантиметровой лентой с нанесённой на неё миллиметровой шкалой проводят с точностью до 1 мм. Массу тела измеряют на медицинских весах с точностью до 50 г. Толщину кожно-жировых складок определяют с точностью до 0,2–0,5 мм.

На рис. 2.3 показан антропометр Харпендена (Holtain, Великобритания) — современное устройство для измерения линейных размеров тела в диапазоне от 50 до 570 мм с точностью до 1 мм, снабжённое электронным датчиком результатов измерений. Прибор сконструирован из лёгкого металлического сплава (вес в футляре составляет 2,8 кг), снабжён прямыми и изогнутыми ножками, запасным датчиком и удлинительными штангами для измерения длины тела (до 2 м).

Измерение высоты антропометрических точек. Перед проведением измерений обследуемый должен снять обувь. Рекомендуемая форма одежды — трусы или плавки. Во время измерений обследуемый находится в естественной, характерной для него позе в положении типа команды “смирно”: пятки вместе, носки врозь, ноги выпрямлены, живот подобран, руки опущены вдоль туловища, кисти свободно свисают, пальцы выпрямлены и прижаты друг



Рис. 2.3. Антропометр Харпендена

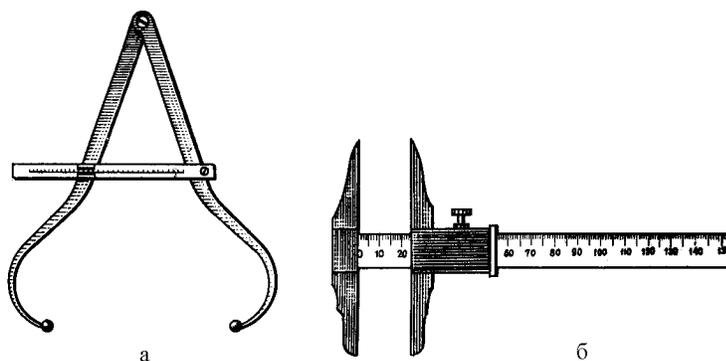


Рис. 2.4. Циркули: а) толстотный; б) скользящий

к другу. Движения плечевого пояса в момент измерений недопустимы. Голова фиксируется так, чтобы верхний край козелка ушной раковины и нижний край глазницы находились в одной горизонтальной плоскости. Это положение необходимо сохранять на протяжении всего измерения, чтобы обеспечить постоянную пространственную конфигурацию антропометрических точек.

Измерения при помощи антропометра должны выполняться быстро и точно (не более 2–3 мин), пока обследуемый сохраняет принятое положение без особых затруднений.

Лучшее время для антропометрических измерений — утром натощак или через 2–3 ч после приёма пищи. При проведении измерений в середине дня или в вечернее время обследуемому рекомен-

дуются перед началом измерений провести 10–15 мин в положении лёжа (при усталости — дольше), поскольку к середине дня длина тела человека, как правило, уменьшается в результате снижения тонуса мышц, поддерживающих позвоночный столб в вертикальном положении.

Большая часть измерений проводится с использованием так называемых антропометрических точек (рис. 2.5), достаточно точно определяемых под кожей на структурных элементах костей.

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

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.

Акромиальная (плечевая) точка — наружная точка акромиального отростка лопатки. При отыскании точки необходимо прощупать вначале ость лопатки и, поднимаясь по ней вверх, определить положение плечевой точки. Для проверки правильности её нахождения необходимо движением руки в плечевом суставе проверить устойчивость точки: если она подвижна, значит произошла ошибка в её определении. При измерении высоты плечевой точки над полом исследователь стоит лицом к измеряемому, устанавливает антропометр вертикально в сагиттальной плоскости, проходящей через измеряемую точку.

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

Шиловидная точка — нижняя точка шиловидного отростка лучевой кости.

Пальцевая точка — соответствует наиболее низкой точке дистальной фаланги третьего пальца кисти. Измеряется при остриженных ногтях, без давления на мягкие ткани.

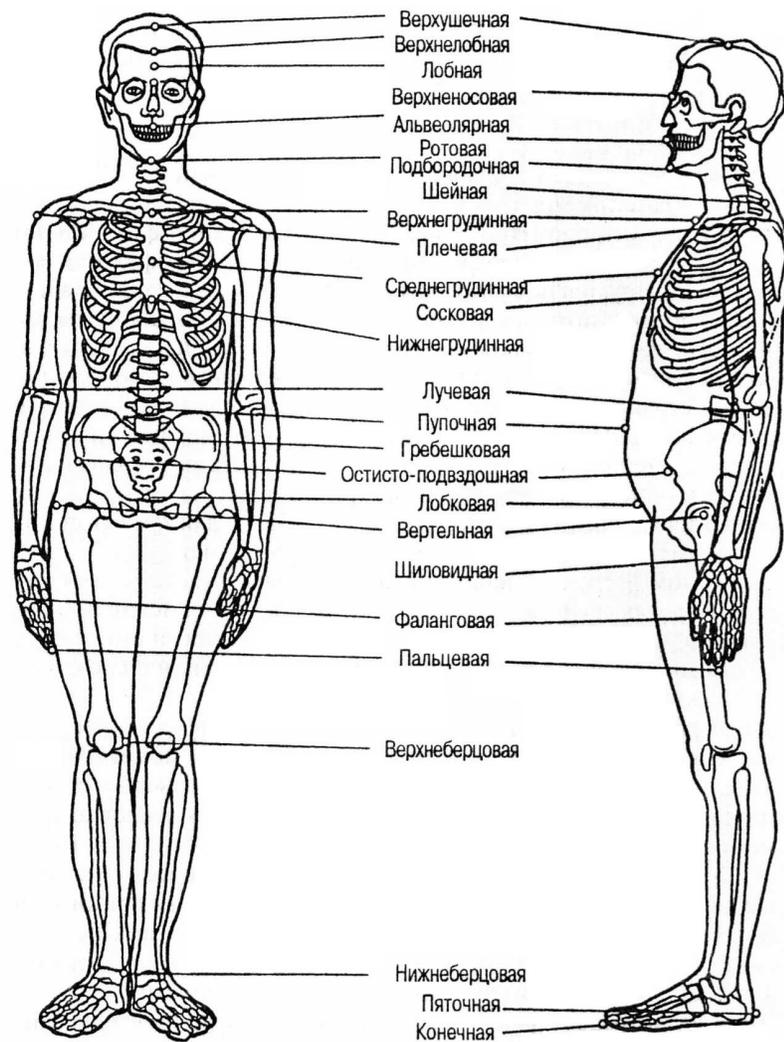


Рис. 2.5. Скелетные точки, используемые при антропометрии

Верхняя передняя подвздошно-остистая точка — наиболее выдающаяся точка, соответствующая верхней передней подвздошной ости.

Лобковая точка — соответствует верхнему краю лобкового симфиза. Находится примерно на границе волосистой части. Определяется прощупыванием верхнего края лонного сочленения через

переднюю стенку живота по срединной линии. Это легко сделать, если попросить испытуемого втянуть живот после предварительного выдоха.

Верхнеберцовая точка — соответствует середине внутреннего мыщелка большеберцовой кости. Определяется прощупыванием суставной щели коленного сустава с внутренней стороны (это легко сделать, если попросить испытуемого, не сходя с места, слегка присесть и вновь восстановить прежнее положение) и фиксацией верхней точки середины внутреннего мыщелка большеберцовой кости.

Нижнеберцовая точка — самая нижняя точка внутренней лодыжки. Измерение рекомендуется проводить скользящим циркулем с привёрнутой муфтой. Если же используется антропометр, то надо подвести линейку антропометра к нижнеберцовой точке снизу и зафиксировать значение её высоты над полом. В этом случае обследуемый помогает удерживать антропометр в вертикальном положении.

Измерение диаметров тела. Измерения проводят в основном большим толстотным циркулем или верхней штангой антропометра, и лишь 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.

Дельтовидный диаметр — расстояние между двумя дельтовидными точками, соответствующими наружным контурам дельтовидных мышц. Измерение лучше проводить верхней штангой антропометра.

Среднегрудинный поперечный диаметр грудной клетки — горизонтальное расстояние между наиболее выступающими точками боковых поверхностей грудной клетки на уровне среднегрудинной точки, что соответствует верхнему краю четвёртых рёбер. Ножки толстотного циркуля устанавливаются по среднеподмышечным линиям с обеих сторон грудной клетки.

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.

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

Вертельный диаметр — расстояние между наиболее выступающими точками больших вертелов бедренных костей. Измерение проводится большим толстотным циркулем.

Наружнобедренный диаметр — горизонтальное расстояние между наиболее выступающими точками верхней части бёдер. Измерение выполняется верхней штангой антропометра, обязательно горизонтально, без сдавливания мягких тканей.

Поперечный диаметр дистальной части плеча — наибольшее расстояние по горизонтали между наружным и внутренним надмышелками плечевой кости. Измерение проводится толстотным циркулем или скользящим циркулем с дополнительной насадкой — длинными ножками.

Поперечный диаметр дистальной части предплечья — наибольшее расстояние по горизонтали между шиловидными отростками лучевой и локтевой костей.

Поперечный диаметр дистальной части бедра — наибольшее расстояние по горизонтали между внутренним и наружным надмышелками бедренной кости.

Поперечный диаметр дистальной части голени — наибольшее расстояние по горизонтали между наружной и внутренней лодыжками голени.

Ширина кисти — расстояние между головками 2-й и 5-й пястных костей. Измерение проводится скользящим циркулем, ножки которого с внешней стороны подводятся к названным точкам. Также можно пользоваться 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 так же, как и 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. Измерение проводится штанговым или скользящим циркулем или специальным стопометром.

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. Измерение проводится штанговым или скользящим циркулем или специальным стопометром.

Измерение обхватов. Измерение проводится в стандартном положении испытуемого, в горизонтальной плоскости. Стоящий перед пациентом врач накладывает 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 прилегать плотно 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.

Обхват шеи — измеряется под щитовидным хрящом.

Обхват груди — лента проходит сзади под нижними углами лопаток спереди, у мужчин и детей — на уровне сосков, у женщин — по верхнему краю грудной железы. Обхват груди измеряется при трёх состояниях: глубоком вдохе, глубоком выдохе и в промежуточном состоянии.

Обхват живота — измеряется на уровне пупочной точки в момент паузы между вдохом и выдохом.

Обхват талии — сантиметровая лента накладывается на 5–6 см выше подвздошных гребней.

Обхват через ягодицы — лента проходит через наиболее выступающие области ягодиц.

Обхват бедра — исходное положение измеряемого: ноги на ширине плеч, вес тела равномерно распределён на обе ноги. Лента накладывается на бедро под ягодичной складкой.

Обхват голени — измеряется в месте наибольшего развития икроножной мышцы. Положение испытуемого такое же, как и при измерении обхвата бедра.

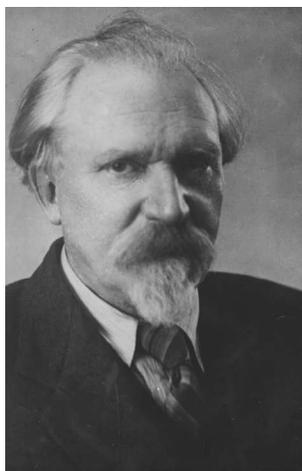
Обхват плеча в спокойном состоянии — измеряется в месте наибольшего развития мышц плеча. Рука свободно свисает, мышцы расслаблены.

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.

Обхват предплечья — измеряется в месте наибольшего развития мышц на свободно свисающей руке, мышцы расслаблены.

Определение массы тела. Масса тела определяется на медицинских весах с точностью до 50 г. Перед взвешиванием необходимо проверить точность их установки.

2.1. Стандарты телосложения, индексы массы тела, заболеваемость и смертность



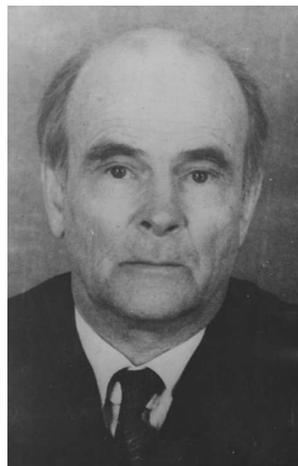
В.В. Бунак (1891–1979)

Для оценки физического развития индивидов используются таблицы значений различных антропометрических признаков, таких как масса и длина тела, а также периметр грудной клетки. В России методы оценки физического развития детей разрабатывали М.Е. Груздев, А.С. Дурново и другие (Башкиров, 1962). Большой вклад в развитие антропометрических методов исследования морфологической изменчивости внёс советский антрополог В. В. Бунак (Бунак, 1924, 1940, 1941). В нашей стране наибольшее распространение получили методы Мартина (1925) и Бунака (1940, 1941), основанные на сопоставлении уровней физического

развития индивида и той популяции, членом которой он является. Каждый измеряемый признак делится на несколько категорий, соответствующих его “низким”, “нормальным” и “высоким” значениям. Чаще всего такая градация базируется на классификации признаков по величине среднеквадратического отклонения (σ), при этом границы нормы выбираются в соответствии со значениями признаков, отстоящими от средних значений не более чем на σ (Башкиров, 1962).

В военных ведомствах, страховых компаниях и ряде других учреждений для оценки физической работоспособности и состояния здоровья индивидов используют росто-весовые таблицы. Опре-

делённым значениям длины тела в них соответствуют различные диапазоны значений массы тела, интерпретируемые по степени отклонения массы тела от нормы. Широко распространены ростовесовые стандарты страховой компании *Metropolitan* (США). Они были разработаны в 1953 г. на основе результатов демографических исследований смертности в общей популяции. В 1983 г. эти данные были уточнены (табл. 2.1), а в 1986 г. дополнены с учётом типа скелетной конституции, определяемого по ширине локтя (межмощелковый диаметр дистального отдела плеча) и окружности запястья.



П.Н. Башкиров

К сожалению, использование ростовесовых таблиц не даёт надёжной информации о составе тела на индивидуальном уровне. Один из первых иллюстрирующих примеров — это результаты обследования американских футболистов высокой квалификации, проведённого А. Бенке (см. фото на стр. 81) (Behnke et al., 1942). Согласно действовавшей в то время инструкции, один из критериев увольнения с военной службы состоял в превышении массы тела у военнослужащих 85%-ного персентилля для нормальной популяции индивидов с аналогичной длиной тела. Это условие оказалось выполнено для 17 из 25 обследованных спортсменов! Применение двухкомпонентной модели состава тела показало, что у 11 из 17 тестируемых процентное содержание жира в организме соответствовало норме, а их ошибочная классификация на основе ростовесовых таблиц как имеющих избыточную массу тела объяснялась увеличенной долей мышечной массы тела. В работе (Girandola et al., 1989) был установлен низкий уровень значимости оценок процентного содержания жира в организме и плотности тела на основе ростовесовых таблиц, а коэффициент корреляции с методом гидростатического взвешивания составил 0,31–0,43. Поэтому *применение ростовесовых таблиц оправдано лишь для ориентировочной оценки содержания жира в организме.*

Альтернативой ростовесовых таблиц для оценки физического развития является использование количественных антропометрических индексов. На основе тотальных и других размеров тела были разработаны математические формулы, представляющие

Таблица 2.1. Классификация массы тела индивидов в возрасте 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
<i>Мужчины</i>			
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
<i>Женщины</i>			
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

собой соотношения двух, трёх или более антропометрических признаков — так называемые *индексы, или указатели, физического развития*. В соответствии с измеряемыми показателями рассматривают *весо-ростовые* (при их построении используют показатели

Таблица 2.2. **Некоторые количественные индексы физического развития человека [(Башкиров, 1962), с сокр.]**

Формула индекса	Автор, год публикации
<i>Весо-ростовые</i>	
$I = \text{Масса тела} / \text{Длина тела}$	Кетле, 1835
$I = \text{Масса тела} / \text{Длина тела}^2$	Кетле, 1869; Гульд, 1869; Кауп, 1923
$I = \text{Масса тела} - \text{Длина тела}^2 / 10$	Верёвкин, 1875
$I = \text{Масса тела} - (\text{Длина тела} - 100)$	Брока, 1879
$I = (\sqrt[3]{\text{Масса тела} / \text{Длина тела}}) \times 100$	Ливи, 1899
$I = \text{Масса тела} / \text{Длина тела}^3 \times 100$	Рорер, 1908
$I = \text{Масса тела} - (\text{Длина тела} - 100) \times 714 + 8$	Ломовицкий, 1923
<i>Грудно-ростовые</i>	
$I = \text{Периметр грудной клетки} - 0,5 \times \text{Длина тела}$	Эрисман
$I = (\text{Периметр грудной клетки} / \text{Длина тела}) \times 100$	Ливи, 1900; Бругш, 1922
<i>Сложные</i>	
$I = \text{Масса тела} / (\text{Длина тела} \times \text{Периметр грудной клетки})$	Борнгардт, 1886
$I = \text{Масса тела} - (\text{Длина тела} \times \text{Периметр грудной клетки}) / 240$	Борнгардт, 1886
$I = (\text{Длина тела} \times \text{Масса тела} \times \text{Периметр грудной клетки} \times \text{Обхват плеча} \times \text{Обхват живота} \times \text{Обхват бедра} \times \text{Обхват голени} \times \text{Длина ноги})^{1/8} / \text{Масса тела}$	Мишневский, 1892
$I = \text{Длина тела} - (\text{Масса тела} + \text{Периметр грудной клетки})$	Пинье, 1901
$I = (\text{Масса тела} \times \text{Периметр грудной клетки}) / \text{Длина тела}$	Пинье, 1902
<i>Прочие</i>	
$I = [(\text{Длина тела} - \text{Длина тела сидя}) / \text{Длина тела сидя}] \times 100$	Мануврие, 1902
$I = (\text{Площадь поперечного сечения туловища на уровне средней грудинной точки} / \text{Длина тела})$	Кауп, 1922
$I = [\text{Периметр грудной клетки} / (\text{Длина тела сидя})^2] \times 100$	Мочан, 1924

длины и массы тела), *грудно-ростовые* (измеряют периметр грудной клетки и длину тела), *сложные* (используют не менее трёх антропометрических показателей) и *прочие* индексы (не относящиеся к указанным типам). Всего было предложено несколько

Таблица 2.3. **Нормальные значения индекса Кетле с учётом возраста**

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

Таблица 2.4. **Классификация значений ИМТ, предложенная ВОЗ, и риск сопутствующих заболеваний**

ИМТ, кг/м ²	Классификация	Риск сопутствующих заболеваний
Менее 18,5	Дефицит массы тела	Низкий (но 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

десятков индексов, некоторые из них приведены в табл. 2.2. Подробное описание и сравнительный анализ индексов можно найти в работе П.Н. Башкирова (1962), где обсуждаются недостатки индексов, затрудняющие индивидуальную оценку физического развития индивидов, такие как предположение о постоянстве пропорций тела и существенная зависимость индексов от возраста, особенно у детей и подростков.

Основной интерес для характеристики состава тела представляют те индексы, в построении которых участвует признак массы тела, т. е. *индексы массы тела*. Ранее пользовались популярностью индексы Брока, Пинье, Кетле, Ливи, Рорера (Башкиров, 1962). В настоящее время наибольшее распространение получил индекс Кетле, иногда называемый индексом Кетле–Гульда–Каупа или просто индексом массы тела (ИМТ):

$$\text{Индекс Кетле} = \text{Масса тела, кг} / (\text{Длина тела, м})^2. \quad (2.1)$$

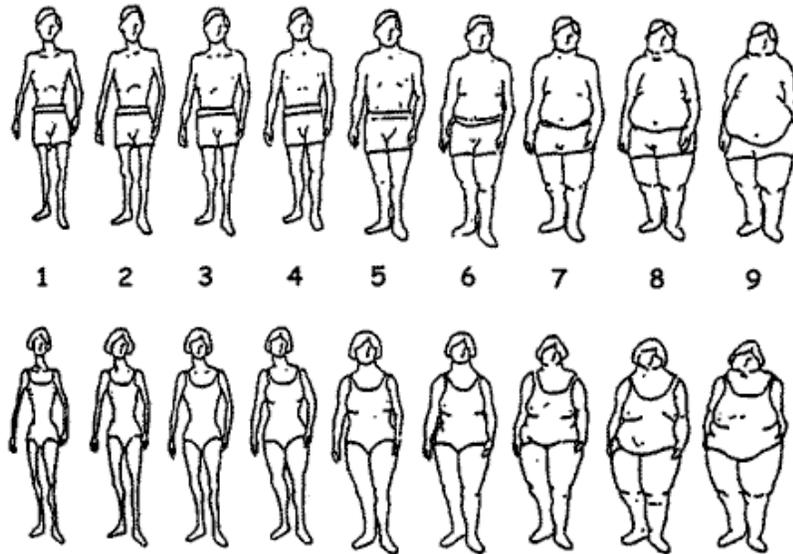


Рис. 2.6. Классификация очертаний тела человека по Булику и соавт., предложенная для количественной оценки ИМТ (Bulik et al., 2001)

Таблица 2.5. Соответствие между вариантами очертаний тела на рис. 2.6 и величиной ИМТ (Bulik et al., 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

В табл. 2.3 показаны ориентировочные границы нормальных значений индекса Кетле у взрослых людей белой расы в зависимости от возраста.

В связи с увеличением в большинстве стран мира 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. 2.4 приводится классификация значений ИМТ с указанием риска сопутствующих заболеваний, предложенная ВОЗ.

Удобный способ зрительной оценки величины индекса массы тела был 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. 2.6. Из табл. 2.5 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 на основе метода гидростатической денситометрии и сопоставляли полученные результаты со значениями нескольких антропометрических индексов. Результаты гидростатической денситометрии хорошо 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 бёдер. Недавно было высказано предположение, что величину окружности талии можно использовать для надёжного выявления лиц с увеличенным риском сердечно-сосудистых заболеваний. Так, было установлено, что длина окружности талии более 94 см у мужчин и более 80 см у женщин может служить критерием, по которому надёжно классифицируют лиц с ИМТ более 25 кг/м^2 и соотношением окружности талии к окружности бёдер свыше 0,95 и 0,80 у мужчин и женщин, соответственно. 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.*

Известно, 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 четырёхкомпонентной модели состава тела, имеет следующий вид (Gallagher et al., 2000):

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = & 64,5 - 848/ИМТ + 0,079 \times \text{Возраст} - 16,4 \times \text{Пол} \\ & + 0,05 \times \text{Пол} \times \text{Возраст} + 39,0 \times \text{Пол}/ИМТ, \end{aligned} \quad (2.2)$$

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.

Важно рассмотреть 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 находится 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 использованного 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. 2.4) (Dietz, Bellizzi, 1999).

О низкой информативности индекса Кетле для спортивного контингента 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 как и избыточная масса жира, она предъявляет повышенные требования ко всем системам организма, и, в первую очередь, к сердечно-сосудистой системе. Проведённые нами исследования спортсменов различного пола, возраста, спортивной специализации и квалификации подтверждают гипотезу о том, что избыточная мышечная масса тела в ряде случаев является лимитирующим фактором физической работоспособности в процессе адаптации к условиям гипоксии и при длительной работе в аэробных условиях (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).

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. 2.7).

Таким образом, основная сфера применения росто-весовых таблиц и индексов массы тела связана с оценкой уровня физического развития, пищевого статуса и предварительной диагностикой ожи-

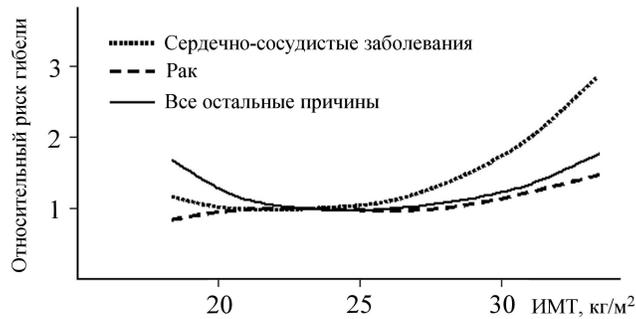


Рис. 2.7. Принципиальный вид функций относительного риска гибели от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и других причин в зависимости от индекса массы тела [по данным (Calle et al., 1999)]

рения. 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. По сравнению с росто-весовыми таблицами, использование индексов массы тела не даёт значительных преимуществ для решения упомянутых задач, но позволяет получить приближённые оценки состава тела в двухкомпонентной модели.

2.2. Калиперометрия

Метод калиперометрии заключается в измерении толщины кожно-жировых складок на определённых участках тела при помощи специальных устройств — калиперов. Калиперометрия явилась одним из первых методов, используемых для изучения состава тела *in vivo*, а разработанные на её основе прогнозирующие формулы для определения состава тела хорошо себя зарекомендовали для решения ряда практических задач спортивной, оздоровительной и клинической медицины. В разработке общих принципов калиперометрических измерений и формул для изучения состава тела у разных популяций участвовали многие исследователи. Среди отечественных специалистов большая заслуга в этом принадлежит сотрудникам НИИ антропологии МГУ им. М. В. Ломоносова Н. Ю. Лутовиновой, М. И. Уткиной и В. П. Чтецову.

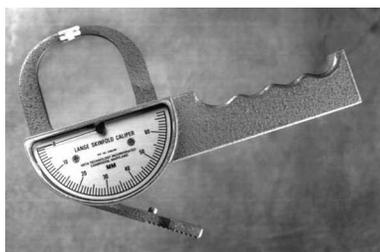


Рис. 2.8. Калипер Ланге

пер Ланге (Beta Technology, США) (рис. 2.8), конструкция которого соответствует современным требованиям, предъявляемым к подобным устройствам. Площадь контактных плоскостей калипера равна 30 мм^2 . Устройство рассчитано на измерение кожно-жировых складок толщиной до 60 мм. Ошибка измерений составляет 1 мм. Исследования показали, что давление в участке соприкосновения калипера Ланге с кожей, равное существующему стандарту 10 г/мм^2 , 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



Рис. 2.9. Калипер Харпендена

Это наиболее точный из существующих калиперов. Погрешность определения толщины складки не превы-

Оборудование. Сегодня в мире производится большое количество различных моделей калиперов, отличающихся друг от друга конструктивными особенностями, точностью измерения, условиями применения, ценой и другими показателями. Одним из наиболее часто используемых в клинической практике и научных исследованиях является выпускаемый с 1962 г. кали-

пер Харпендена (British Indicators, Великобритания) (рис. 2.9) в течение многих лет являлся стандартом для использования в научных исследованиях. На сегодняшний день большинство данных, относящихся к измерению кожно-жировых складок, и формул для оценки состава тела на основе калиперометрии получено с использо-

¹Отметим, что у более ранних моделей калиперов коэффициент трения при увеличении угла раскрытия сильно возрастал, что служило дополнительным источником погрешности определения состава тела.

шает 0,2 мм, а её максимальная измеряемая толщина составляет 55 мм.

Калипер Дж. Таннера-Р. Уайтхауса (Holtain, Великобритания) (рис. 2.10), разработанный совместно с Институтом здоровья детей Лондонского университета, считается наряду с калипером Харпендена одним из самых точных и надёжных устройств. Вес калипера равен 0,4 кг, минимальная градация шкалы измерений — 0,2 мм. Диапазон измерения толщины складок составляет для данного калипера до 48 мм, поэтому его применение для обследования больных ожирением затруднено или невозможно.

Калипер Лафайет (Lafayette Instrument, США) (рис. 2.11) был разработан при участии Э. Джексона (A. S. Jackson) — одного из авторов популярных формул Джексона-Поллока (см. ниже) и обладает всеми достоинствами описанных выше устройств. Шкала измерений имеет регулируемую точку отсчёта, что избавляет пользователей от необходимости отправки прибора на завод-изготовитель для повторной калибровки. Диапазон измерения толщины кожно-жировых складок составляет от 0 до 100 мм. Это даёт возможность дополнительно определять ширину локтя, используемую в антропометрии для определения типа скелетной конституции.

Калипер Skyndex I (Caldwell Justiss, США) (рис. 2.12) имеет встроенный микропроцессор, вычисляющий процентное содержание жира в организме на основе одной или двух из следующих



Рис. 2.10. Калипер Таннера-Уайтхауса

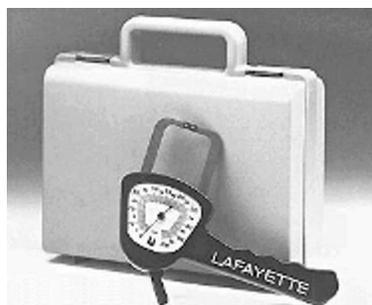


Рис. 2.11. Калипер Лафайет



Рис. 2.12. Калипер Skyndex I



Slim Guide



Baseline



Jamar

Рис. 2.13. Калиперы Slim Guide, Baseline и Jamar

формул: Jackson-Pollock (для взрослых спортсменов с низким относительным содержанием жира, по 3 складкам), Durnin (для взрослых людей, относящихся к общей популяции, по 4 складкам), и Slaughter-Lohman (для детей от 6 до 17 лет, по 2 складкам). Применение этого устройства избавляет от необходимости ручных вычислений или использования специальных таблиц для определения процентного содержания жира в организме, что снижает вероятность случайной ошибки. Калипер Skyndex I удобно использовать при необходимости проведения массовых обследований за небольшой промежуток времени. Ошибка результатов вычисления величины %ЖМТ при повторных измерениях, выполненных у одного и того же индивида, не превышает 2%. Выпускается также калипер Skyndex II с электронно-цифровой шкалой измерений без микропроцессора.

Пластиковый калипер Slim Guide (Rosscraft, Канада; Creative Health Products, США) (рис. 2.13(a)) наиболее популярен среди недорогих приборов; по своим характеристикам он приближается к профессиональным моделям калиперов. Измеряемый диапазон толщины складок составляет от 0 до 85 мм. Результат измерений округляется до ближайших 0,5 мм.

Калиперы Baseline, Jamar, ТЕС и Rehab World выпускаются в азиатских странах; по внешнему виду и другим характеристикам они аналогичны калиперу Ланге.

В ряде стран Центральной и Восточной Европы с середины 1960-х годов до настоящего времени пользуется популярностью калипер В. Беста (Best, 1954) и его различные модификации.

Сопоставление перечисленных моделей калиперов выявило ряд различий их статических и динамических характеристик. Установ-

лено, что измерения толщины складок, выполненные калиперами Харпендена, Таннера-Уайтхауса, Skyndex и Slim Guide, приводят к близким, но более низким значениям по сравнению с калиперами Ланге и Лафайет (Lohman et al., 1988; Schmidt, Carter, 1990).

В отличие от других моделей калиперов, полуавтоматический калипер FatTrack (Accu-Measure, США) (рис. 2.14) применяется для мониторинга процентного содержания жира у самого себя. Относительно недорогое устройство, предназначенное для использования здоровыми взрослыми индивидами. Прибор имеет распространение на Западе среди спортсменов, занимающихся тяжёлой атлетикой, бодибилдингом и пауэрлифтингом, а также среди персональных тренеров и лиц, участвующих в физкультурно-оздоровительных программах. Встроенный микропроцессор позволяет хранить три индивидуальных профиля.

Корпус устройства сделан из пластика. Определение процентного содержания жира в организме (%ЖМТ) проводится по трём складкам (в верхней, средней и нижней части тела) с использованием формул Джексона-Поллока. Во время измерений специальное звуковое устройство сигнализирует об установлении стандартного давления дуг калипера на складку, в этот момент определяют её толщину. Ошибка измерения составляет 1 мм. Существенный недостаток заключается в практически полном отсутствии сопоставления результатов применения калипера FatTrack с другими типами калиперов, а также с эталонными методами определения %ЖМТ для различных популяций. Исключение составляет популяция здоровых взрослых людей в возрасте от 18 до 33 лет, для которой было показано хорошее соответствие результатов определения %ЖМТ с использованием калиперов FatTrack и Ланге, при этом величина стандартной ошибки по сравнению с результатами гидростатической денситометрии была в пределах 2,9–3,6%



Рис. 2.14. Калипер FatTrack



Рис. 2.15. Простой калипер



Рис. 2.16. Другие разновидности калиперов

(Eckerson et al., 1998). Другой недостаток связан с недоступностью некоторых складок при их измерении у самого себя.

Простой калипер (Fat Control, США) (рис. 2.15) представляет собой недорогое устройство из пластика, применяемое, как правило, лишь для отслеживания быстрых изменений толщины подкожно-жирового слоя. Точность измерения невысока. Поэтому получаемые результаты необходимо интерпретировать с осторожностью.

На рис. 2.16 показаны другие разновидности калиперов, применяемые для определения состава тела. По своим характеристикам все они уступают профессиональным моделям калиперов.

В приложении 5 приводится ориентировочная цена и другая информация о некоторых часто используемых разновидностях калиперов. Отметим существенные различия в цене между пластиковыми и металлическими устройствами. Пластиковые калиперы менее долговечны, и при длительном использовании перестают соответствовать основным требованиям к процедуре измерений. Давление в участке соприкосновения пластикового калипера с кожей в момент измерений может со временем изменяться. Это приводит к увеличению погрешности определения состава тела, так как известно, что снижение давления контактных плоскостей калипера на складку на 1 г/мм^2 даёт увеличение её измеряемой толщины на 10% (Чтецов, 1968). Металлические устройства служат значительно дольше, допускают возможность многократной калибровки и, как правило, широко проверены на различных популяциях.

Вспомогательным оборудованием, без которого в ряде случаев невозможно с достаточной точностью определить отдельные компоненты массы тела, служат антропометр, толстотный циркуль,

медицинские весы, а также сантиметровая металлическая, полотняная или пластиковая лента.

Для определения состава тела используют разные наборы измеряемых признаков и кожно-жировых складок. Наиболее часто измеряемые складки перечислены ниже (все они берутся на правой стороне тела).²

На щеке — берётся под виском справа на линии, соединяющей козелок уха и ноздри.

На подбородке — вертикальная складка под подъязычной костью. Голова слегка приподнята. Кожа на шее не должна быть натянута.

На груди — диагональная складка (сверху вниз, снаружи кнутри), взята посередине между передней подмышечной линией и соском (на 1/3 расстояния — у женщин).

Подмышечная — вертикальная складка, взята на средней подмышечной линии на уровне мечевидного отростка грудины; иногда также берётся горизонтальная складка на средней подмышечной линии на уровне границы грудины/мечевидного отростка.

Под лопаткой — диагональная складка (сверху вниз, изнутри кнаружи), расположенная под углом 45° на расстоянии 2 см вниз от нижнего угла лопатки.

На передней поверхности плеча — вертикальная складка, взята над двуглавой мышцей посередине между акромиальным и локтевым отростком, рука располагается вдоль туловища и должна быть расслаблена.

На задней поверхности плеча — вертикальная складка, взята над трёхглавой мышцей при опущенной и расслабленной руке. Берётся на средней линии задней поверхности плеча посередине между акромиальным и локтевым отростком.

В области VII ребра спереди — косая и вертикальная складки над VII ребром справа.

На предплечье — вертикальная складка на передней поверхности предплечья в наиболее широком его месте.

На животе возле пупка — вертикальная складка (современная схема), берётся на уровне пупка справа на расстоянии 2 см от него³; иногда также берётся горизонтальная складка (традиционная схема). Во избежание болевых ощущений перед началом из-

²Некоторые авторы рекомендуют проводить измерения на левой стороне тела.

³В схеме Н.Ю. Лутовиновой и др. (1970) толщина складки определяется на расстоянии 5 см от пупка, при этом если измерение вертикальной складки провести трудно, то берётся горизонтальная складка.

мерений необходимо убедиться, что рабочие поверхности калипера не находятся непосредственно на пупке.

Верхнеподвздошная складка — диагональная складка, взятая непосредственно над подвздошным гребнем, вдоль его естественной линии (иногда измеряют толщину вертикальной складки).

На тыльной поверхности кисти — складка вдоль длины среднего пальца на уровне его головки.

На верхней части бедра — берётся 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 её.

На середине бедра спереди — вертикальная складка, взятая спереди над четырёхглавой мышцей на середине бедра правой ноги (измеряется в положении стоя; центр тяжести смещён на левую ногу, правая нога расслаблена).

На середине бедра сзади — складка взята на том же уровне сзади.

Над надколенником — вертикальная складка, берётся на 4–5 см выше коленной чашечки. Нога немного согнута и слегка опирается на носок.

На верхней части голени — складка измеряется в том же положении, что и на верхней части бедра. Берётся почти вертикально на заднелатеральной поверхности верхней части правой голени, на уровне нижнего угла подколенной ямки.

На середине голени сзади — вертикальная складка, взятая на средней линии медиальной поверхности икры на уровне максимальной окружности.

Методические рекомендации [по (Harrison et al., 1988), с нашими изменениями]. Все измерения 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 должно составлять от 4 до 8 см, и мягко, не вызывая болезненного ощущения у обследуемого, приподнять складку на высоту около 1 см. При обследовании больных ожирением начальное расстояние между пальцами для успешного отделения складки должно быть ещё больше.

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.

Складку необходимо брать быстро, так как при длительном сжатии из-за нарушения баланса жидкости в приповерхностных участках тела она истончается. Точность показаний калипера следует периодически проверять с использованием специального калибровочного блока.

Для выработки профессиональных навыков измерения толщины кожно-жировых складок на основе калиперометрии необходимо провести не менее 50–100 пробных обследований, сравнивая результаты с полученными у тех же индивидов опытным специалистом.

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

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

Вариация толщины складок при повторных измерениях не должна превышать 10%. Отметим, что хорошо подготовленный специалист, как правило, может легко контролировать указанную погрешность в пределах 5%, однако в случае достаточно тонких или толстых складок (менее 5 мм или свыше 15 мм) качество воспроизводимости результатов измерений может несколько снижаться.

Формулы для оценки жировой массы тела. В настоящее время имеется свыше 100 формул на основе калиперометрии для определения состава тела. Отсутствие универсальных формул связано не только с субъективными факторами, такими как традиции, личный опыт и выбор конкретных специалистов, но главным образом с различиями популяций в зависимости от пола, возраста, этнической принадлежности, уровня физической активности, состояния здоровья и других факторов. Все имеющиеся формулы получены путём калибровки уравнений линейной регрессии на основе сопоставления результатов калиперометрии с одним из эталонных

методов определения состава тела (ранее в качестве эталона использовали метод гидростатической денситометрии, а в последние годы для этого стали применять двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию, магнитно-резонансную томографию и некоторые другие методы). Этим формулам соответствуют разнообразные схемы выбора участков измерений. Наиболее популярны следующие схемы:

1) *По двум складкам*: на задней поверхности плеча и на середине голени сзади (Slaughter et al., 1988).

2) *По трём складкам*: на животе возле пупка, на груди и на середине бедра сзади (у мужчин); на задней поверхности плеча, верхнеподвздошная и на середине бедра сзади (у женщин) (Jackson, Pollock, 1978; Jackson et al., 1980).

3) *По четырём складкам*: на задней поверхности плеча, верхнеподвздошная, на животе возле пупка, на середине бедра (Jackson et al., 1980); на передней и задней поверхности плеча, под лопаткой, верхнеподвздошная (Durnin, Rahaman, 1967; Durnin, Womersley, 1974).

4) *По семи складкам*: на задней поверхности плеча, на груди, подмышечная, под лопаткой, верхнеподвздошная, на животе возле пупка, на середине бедра сзади (Jackson, Pollock, 1978; Jackson et al., 1980).

5) *По восьми складкам*: под лопаткой, на передней поверхности плеча, на задней поверхности плеча, на предплечье, на груди, на животе возле пупка, на верхней части бедра, на верхней части голени (Лутовинова и др., 1970).

Процедура определения абсолютного или относительного содержания жира в массе тела (ЖМТ, %ЖМТ) на основе калиперометрии заключается в следующем. Сначала при помощи калипера определяют толщину кожно-жировых складок согласно одной из указанных схем измерений. Затем с использованием регрессионных формул определяют плотность тела (ПТ), и на основе подходящей формулы двухкомпонентной модели состава тела вычисляют ЖМТ или %ЖМТ. По некоторым регрессионным формулам величина %ЖМТ определяется непосредственно. Часто применяются следующие формулы:

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

$$\%ЖМТ = 495 / [1,099421 - 0,0009929 \times S_3 + 0,0000023 \times S_3^2 - 0,0001392 \times \text{Возраст (лет)}] - 450; \quad (2.3)$$

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

$$\%ЖМТ = 495/[1,109380 - 0,0008267 \times S_3 + 0,0000016 \times S_3^2 - 0,0002574 \times \text{Возраст (лет)}] - 450, \quad (2.4)$$

где S_3 — сумма трёх указанных выше складок (мм) для мужчин и женщин, соответственно.

Для женщин и мужчин 16–72 лет (Durnin, Womersley, 1974):

$$\%ЖМТ = 495/[1,1509 - 0,0715 \times \log S_4] - 450; \quad (2.5)$$

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

$$\%ЖМТ = 495/[1,1369 - 0,0598 \times \log S_4] - 450, \quad (2.6)$$

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

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

$$\%ЖМТ = 495/[1,096095 - 0,0006952 \times S_4 + 0,0000011 \times S_4^2 - 0,0000714 \times \text{Возраст (лет)}] - 450; \quad (2.7)$$

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

Для мужчин от 18 лет до 61 года, активно занимающихся спортом (Jackson, Pollock, 1978):

$$\%ЖМТ = 495/[1,1120 - 0,00043499 \times S_7 + 0,00000055 \times S_7^2 - 0,0002883 \times \text{Возраст (лет)}] - 450, \quad (2.8)$$

где S_7 — сумма семи указанных выше складок (мм).

Формулы (2.7) и (2.8) наиболее точны в случае тощих индивидов. Использовать их не рекомендуется при относительном содержании жира у мужчин свыше 12%, а у женщин — свыше 14% (Lohman et al., 1988).

Из антропометрических формул для определения состава тела у детей рекомендуются формулы Слотер (Slaughter et al., 1988):

а) если суммарная толщина складок на трицепсе и под лопаткой меньше 35 мм:

$$\%ЖМТ = 0,735 \times S_2 + 1,0; \quad (\text{для мальчиков}) \quad (2.9)$$

$$\%ЖМТ = 0,610 \times S_2 + 5,1. \quad (\text{для девочек}) \quad (2.10)$$

б) если суммарная толщина складок на трицепсе и под лопаткой превышает 35 мм:

$$\%ЖМТ = 0,783 \times S_2 + 1,6; \quad (\text{для мальчиков}) \quad (2.11)$$

$$\%ЖМТ = 0,546 \times S_2 + 9,7. \quad (\text{для девочек}) \quad (2.12)$$

В случае (а) можно использовать формулы с квадратичной зависимостью %ЖМТ от толщины складок (Slaughter et al., 1988):

$$\%ЖМТ = 1,21 \times S_2 - 0,008 \times S_2^2 - 1,7; \quad (\text{для мальчиков}) \quad (2.13)$$

$$\%ЖМТ = 1,33 \times S_2 - 0,013 \times S_2^2 - 2,5. \quad (\text{для девочек}) \quad (2.14)$$

В выражениях (2.11) и (2.12) S_2 вычисляется как сумма складок на трицепсе и голени (мм), а в остальных случаях — как сумма складок на трицепсе и под лопаткой. Формулы Слотер применяются для детей в возрасте от 8 до 17 лет. Они были получены путём уточнения коэффициентов соответствующих регрессионных формул на основе четырёхкомпонентной модели состава тела, сочетающей результаты применения гидростатической денситометрии, метода разведения дейтерия и монофотонной абсорбциометрии ($n = 242$). Измерения кожно-жировых складок проводились калипером Харпендена.

Существуют формулы для определения %ЖМТ с учётом этнической принадлежности [(Harsha et al., 1978a,b; Jackson, Pollock, 1978, Jackson et al., 1980; Slaughter et al., 1988); см. также (Heyward, Wagner, 2004; Heymsfield et al., 2005)]. Так, например, формула Деценберга для детей от 4 до 11 лет имеет следующий вид (Dezenberg et al., 1999):

$$\begin{aligned} \text{ЖМТ (кг)} = & 0,38 \times \text{Масса тела (кг)} + \\ & 0,30 \times \text{Складка на трицепсе (мм)} + 0,87 \times \text{Пол} \\ & + 0,81 \times \text{Этническая принадлежность} - 9,42, \quad (2.15) \end{aligned}$$

где Пол = 1 для мальчиков и 2 для девочек; Этническая принадлежность = 1 (европеоиды), 2 (афроамериканцы).

В работе (Bray et al., 2001) проводилось подробное сопоставление различных формул на основе калиперометрии для определения абсолютного и относительного содержания жира у детей

с использованием в качестве эталона двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Было установлено, что все использованные формулы давали более точные оценки состава тела при значениях %ЖМТ, принадлежащих верхней части распределения. В целом, выбор формулы для определения состава тела у детей на основе калиперометрии существенно влияет на получаемую оценку %ЖМТ. Для более точной характеристики состава тела у детей на основе калиперометрии необходимы дальнейшие исследования.



Й. Матейка

Из множества формул разных авторов в России и ряде других стран весьма популярны формулы Матейки⁴, применяемые для возрастных групп старше 16 лет (Matiegka, 1921). Формула для определения массы жировых тканей в организме (МЖТ) имеет вид

$$\text{МЖТ (кг)} = d \times S \times k, \quad (2.16)$$

где d — средняя толщина подкожно-жирового слоя вместе с кожей (мм), S — площадь поверхности тела (м^2), $k = 1,3$ — константа, полученная экспериментально на анатомическом материале. Для мужчин величина d вычисляется следующим образом:

$$d = \left(\sum_{i=1}^8 d_i \right) / 16, \quad (2.17)$$

где d_1, \dots, d_8 — толщина кожно-жировых складок (мм) на плече (спереди и сзади), предплечье, спине, животе, бедре, голени и груди, соответственно. Отметим, что толщина кожно-жировой складки соответствует двойному слою подкожного жира и кожи, поэтому в знаменателе формулы (2.17) для величины d стоит 16 — удвоенное количество измеряемых складок. Соответствующая формула для женщин представляет собой сумму первых семи слагаемых, делённую на 14 (складка на груди не измеряется). Площадь

⁴Йиндржих Матейка (1862–1941) — чешский антрополог, основные труды по позднему палеолиту. Один из основоположников анатомического подхода к изучению состава тела. На протяжении ряда лет был ректором старейшего в Центральной Европе Карлова университета в Праге, основанного в 1348 г.



Н. Ю. Лутовинова



М. И. Уткина



В. П. Чтецов

поверхности тела определяется по формуле Дюбуа (Du Bois, Du Bois, 1989):

$$S = 71,84 \times (\text{Масса тела, кг})^{0,425} \times (\text{Длина тела, см})^{0,725}. \quad (2.18)$$

Описанная выше схема измерений по восьми складкам была предложена сотрудниками НИИ антропологии МГУ Н. Ю. Лутовиновой, М. И. Уткиной и В. П. Чтецовым на основе изучения изменчивости подкожно-жирового слоя у 684 мужчин и 273 женщин молодого возраста (Лутовинова и др., 1970). В числе работ тех же авторов имеется подробный критический анализ зарубежных исследований, связанных с оценкой вариации подкожного и общего жира и их взаимосвязей с другими компонентами состава тела (Чтецов, 1968). В работе Н. Ю. Лутовиновой и В. П. Чтецова (1969) приводится сопоставление различных антропометрических формул для определения состава тела с использованием калиперометрии и формул двухкомпонентной модели состава тела на основе гидростатической денситометрии. Исследование проводилось на однородной возрастной группе (студенты МГУ 18–30 лет, $n = 60$). Был сделан вывод, что для индивидуальной характеристики количества жировой массы среди рассмотренных методов пригоден метод Матейки, а остальные методы можно рекомендовать лишь для групповой характеристики. В целом, этот результат соответствует выводам, полученным в результате применения двухкомпонентной модели состава тела, и, в частности, свидетельствует о необходимости использования более подробных моделей состава

тела в качестве эталона для разработки точных и надёжных прогнозирующих формул на основе калиперометрии.

В связи с результатами, полученными Н. Ю. Лутовиновой, М. И. Уткиной и В. П. Чтецовым, следует вновь подчеркнуть принципиальное различие между понятиями “жировые ткани” и “жир тела”. Первое, вслед за Й. Матейкой, традиционно рассматривается в качестве одной из фракций четырёхкомпонентной анатомической модели состава тела (масса тела = масса жировых тканей + масса скелета + масса скелетных мышц + масса внутренних органов и остатка), а второе характеризует химический состав тела. Термин “жировая масса тела” обозначает массу всего жира в организме. Эта величина определяется не только количеством жировых тканей (подкожного и внутреннего жира), но и содержанием жира в метаболически активных органах (в мозге, печени и др.). Как отмечалось в п. 1.2.1, прямые оценки содержания существенного жира в организме малочисленны и противоречивы. В то же время, в состав жировых тканей входят жир, вода и белок, относительное содержание которых при нормальном процентном содержании жира в организме составляет 80–85%, 13–18% и 2%, соответственно (Sheng, 1988), и может существенно изменяться при увеличении доли жировой массы (Roche et al., 1996). Ввиду трудностей оценки соответствующих изменений *in vivo* прямой переход с химического на анатомический уровень состава тела остаётся недоступным даже с использованием новейших методов анализа. Поэтому важным и актуальным остаётся вывод Н. Ю. Лутовиновой и В. П. Чтецова о настоятельной необходимости детального трупного анализа отдельных представителей различных возрастно-половых, территориальных и конституциональных групп для правильной оценки соотношений между подкожным и внутренним жиром и установления вариабельности констант применительно к различным выборкам [(Лутовинова, Чтецов, 1969), см. также (Clagys et al., 1999)].

Наличие нижней границы физиологической нормы доли жировой массы, соответствующей относительному содержанию в организме существенного жира, необходимо иметь в виду при мониторинге состава тела спортсменов в ходе тренировочного процесса и подготовки к соревнованиям: приближение измеряемого значения %ЖМТ к указанному пределу его допустимого снижения чаще всего связано с перенапряжением, перетренировкой и другими нежелательными последствиями нарушения обмена веществ.

Таблица 2.6. Соответствие между величинами %МЖТ и %ЖМТ для популяции взрослых спортсменов (Мартиросов и др., 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

Как отмечалось выше, точная взаимная интерпретация результатов оценки состава тела на химическом и анатомическом уровне невозможна, некоторое представление о соотношениях между ними даёт табл. 2.6, в которой показано соответствие между процентным содержанием массы жировых тканей в организме (%МЖТ) и величиной %ЖМТ. Данные получены на основе калиперометрии и волюминометрии, соответственно, для популяции взрослых спортсменов (Мартиросов и др., 1984).

Не рекомендуется использовать калиперометрию для оценки %ЖМТ у больных ожирением. В этом случае следует предпочесть антропометрические формулы на основе обхватных размеров тела.

Для женщин (20–60 лет) с высоким относительным содержанием жира в организме формула на основе обхватных размеров тела имеет следующий вид (Weltman et al., 1988):

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = & 0,11077 \times (\text{Обхват живота, см}) - \\ & 0,17666 \times (\text{Длина тела, м}) + 0,14354 \times (\text{Масса тела, кг}) + 51,033. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Для мужчин (24–68 лет) с высоким относительным содержанием жира в организме (Weltman et al., 1987):

$$\begin{aligned} \%ЖМТ = & 0,31457 \times (\text{Обхват живота, см}) - \\ & 0,10969 \times (\text{Масса тела, кг}) + 10,834. \end{aligned} \quad (2.20)$$

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% (цит. по (Heyward, 2001)).

Таблица 2.7. **Классификация относительного содержания жира (%ЖМТ) в организме мужчин (Robergs, Roberts, 1997)**

Характеристика	Возраст, лет				
	20–29	30–39	40–49	50–59	> 60
Очень низкое	< 11	< 12	< 14	< 15	< 16
Низкое	11–13	12–14	14–16	15–17	16–18
Оптимальное	14–20	15–21	17–23	18–24	19–25
Умеренное высокое	21–23	22–24	24–26	25–27	26–28

Таблица 2.8. **Классификация относительного содержания жира (%ЖМТ) в организме женщин (Robergs, Roberts, 1997)**

Характеристика	Возраст, лет				
	20–29	30–39	40–49	50–59	> 60
Очень низкое	< 16	< 17	< 18	< 19	< 20
Низкое	16–19	17–20	18–21	19–22	20–23
Оптимальное	20–28	21–29	22–30	23–31	24–32
Умеренное высокое	29–31	30–32	31–33	32–33	33–35

В табл. 2.7 и 2.8 показана классификация относительного содержания жира в организме мужчин и женщин для общей популяции (Robergs, Roberts, 1997). Отметим, что с точки зрения данных для общей популяции содержание жира в организме спортсменов, как правило, характеризуется очень низкими значениями (см. приложение 2).

Формулы для определения скелетно-мышечной массы. Первые антропометрические формулы для определения скелетно-мышечной массы тела (СММ) предложил Матейка на основе патологоанатомических данных (Matiegka, 1921):

$$\text{СММ (кг)} = \text{ДТ} \times r^2 \times k, \quad (2.21)$$

где ДТ — длина тела (м), $k = 6,5$ — константа, полученная экспериментальным путём, r — среднее значение радиусов плеча, предплечья, бедра и голени без подкожного жира и кожи (см), определяемое по формуле

$$r = (\text{сумма обхватов плеча, предплечья, бедра и голени (см)} / 25,12) - (\text{сумма жировых складок на предплечье, плече (спереди и сзади), бедре и голени (мм)} / 100). \quad (2.22)$$

Обхват плеча измеряется в спокойном состоянии в месте наибольшего развития; обхват предплечья — в месте наибольшего развития мышц на свободно свисающей руке, мышцы расслаблены; обхват голени — в месте наибольшего развития икроножной мышцы; обхват бедра измеряется под ягодичной складкой, вес тела равномерно распределён на обе ноги, расположенные на ширине плеч. Складки определяются в том же положении, что и обхваты.

В начале и середине 1990-х годов были разработаны новые антропометрические формулы, основанные на анатомическом исследовании 12 трупов пожилых мужчин (Doupe et al., 1997; Martin et al., 1990). Недавно были предложены формулы для определения скелетно-мышечной массы тела в общей популяции путём сопоставления результатов антропометрии с данными магнитно-резонансной томографии (Lee et al., 2000).

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

$$\text{СММ (кг)} = \text{Длина тела (м)} \times (0,00088 \times \text{СОБ}^2 + 0,00744 \times \text{СОП}^2 + 0,00441 \times \text{СОГ}^2) + 2,4 \times \text{Пол} - 0,048 \times \text{Возраст (лет)} + \text{Раса} + 7,8. \quad (2.23)$$

В этой формуле СОП — это 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 $SEE = 2,2$ кг);

б) На основе длины и массы тела:

$$\text{СММ (кг)} = 0,244 \times \text{Масса тела (кг)} + 7,8 \times \text{Длина тела (м)} + 6,6 \times \text{Пол} - 0,098 \times \text{Возраст (лет)} + \text{Раса} - 3,3. \quad (2.24)$$

Здесь 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 $SEE = 2,8$ кг).

Было установлено, что формулы для определения состава тела на основе измерения обхватов конечностей с учётом толщины кожно-жировых складок более точны по сравнению с полученными на основе длины и массы тела. Как и все прогнозирующие антро-

пометрические формулы, они специфичны для конкретных популяций. Так, например, формулы для общей популяции непригодны для лиц, занимающихся бодибилдингом, и наоборот.

Калиперометрия применяется для контроля текущего состояния спортсменов в условиях тренировочного процесса и подготовки к соревнованиям. На рис. 2.17а показаны типичные тренды показателей состава тела, по данным калиперометрии, соответствующие оптимальной тактике подготовки к соревнованиям, при которой скелетно-мышечная масса (верхний график) монотонно растёт до 54–56%, а жировая масса тела (нижний график) монотонно снижается до 7–9%. Два других рисунка иллюстрируют неэффективные режимы подготовки. Рис. 2.17б соответствует ситуации перетренированности спортсменов перед соревнованием, когда на фоне снижения жировой массы тела происходит первоначальный рост с последующим снижением скелетно-мышечной массы. Вариант динамики изменений состава тела, показанный на рис. 2.17в соответствует ситуации, когда спортсмен непосредственно перед соревнованием уделяет чрезмерно много внимания специальной подготовке в ущерб общей физической подготовке. В качестве примера на рис. 2.18 показана динамика изменения показателей состава тела и спортивных результатов в годичном цикле подготовки у пловцов мсмк⁵ И. Полянского и мсмк В. Ярощука.

В течение ряда лет в лаборатории спортивной антропологии, морфологии и генетики Всероссийского научно-исследовательского института физической культуры (ВНИИФК) проводились сбор и обработка данных, характеризующих стандарты телосложения высококвалифицированных спортсменов. Результаты исследований были опубликованы [см., например, (Абрамова, 1989; Мартиросов, 1998а,б)]. В приложении 2 приводятся средние значения длины и массы тела (ДТ, МТ), а также абсолютное и относительное содержание жировых тканей (МЖТ, %МЖТ) и скелетных мышц (СММ, %СММ) у спортсменов, входивших в основные составы сборных команд России и СССР по некоторым олимпийским видам спорта (Мартиросов, 1998б). Показатели состава тела определяли по формулам Матейки. Возраст обследованной популяции составил от 16 до 25 лет, стаж занятий спортом — от 6 до 12 лет.

Приведённые в приложении 2 значения можно в первом приближении рассматривать как оптимальные для соответствующих видов спорта. Отметим существенные межгрупповые различия не

⁵Мастер спорта международного класса. — *Прим. ред.*

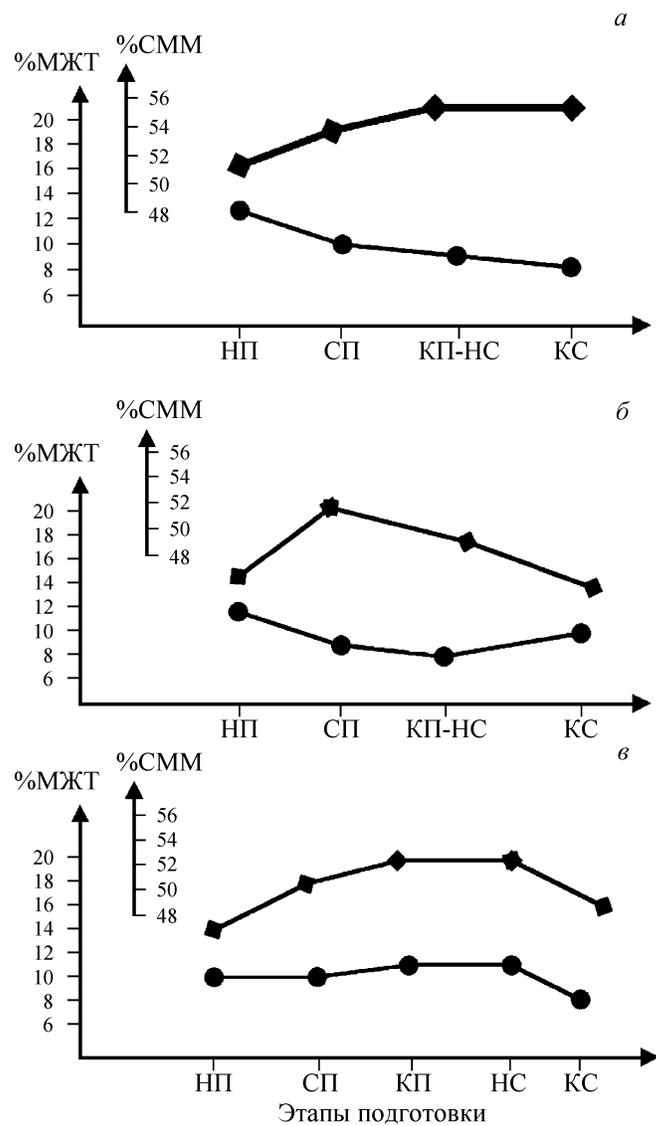


Рис. 2.17. Варианты динамики изменений состава тела спортсменов в тренировочном цикле: *а* — положительная динамика, *б* — отрицательная динамика, *в* — острое перенапряжение. Условные обозначения: %МЖТ, %СММ — процентное содержание жировой и скелетно-мышечной ткани в массе тела; НП, СП, КП — начало, середина и конец подготовительного этапа; НС, КС — начало и конец соревнований, соответственно

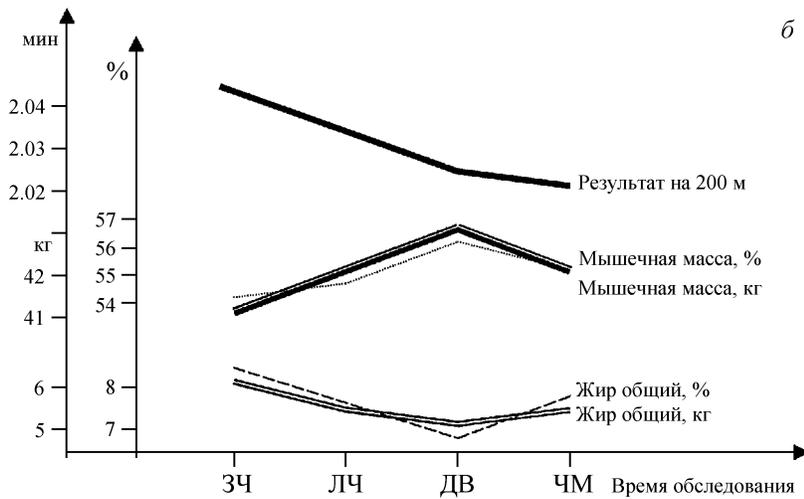
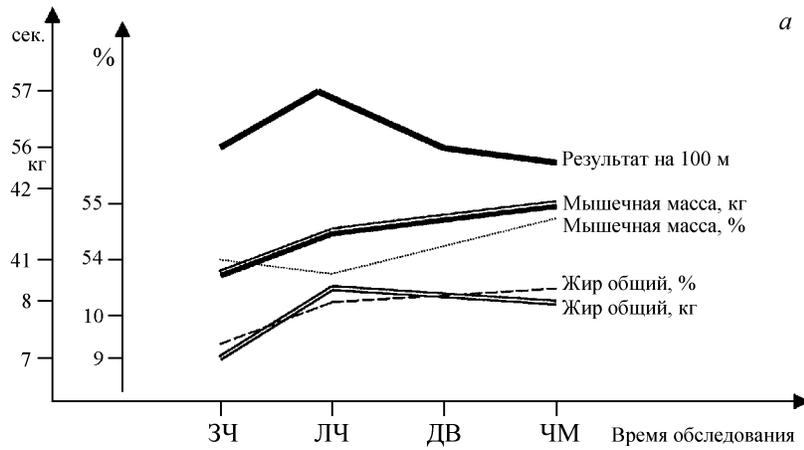


Рис. 2.18. Динамика изменения показателей состава тела и спортивных результатов в годичном цикле подготовки: *a* — у пловца мсмк И. Полянского; *б* — у пловца мсмк В. Ярощука. Условные обозначения: ЗЧ — зимний чемпионат СССР, ЛЧ — летний чемпионат СССР, ДВ — игры Доброй Воли, ЧМ — чемпионат мира

только между разными видами спорта, но и между отдельными дисциплинами или амплуа в пределах одного вида спорта. Вместе с тем, были выявлены существенные межгрупповые различия показателей состава тела у спортсменов высокой квалификации —

представителей одного вида спорта, ранжированных по показателям спортивных достижений (Абрамова, 1989; Мартиросов, 1998а).

Помимо возможностей антропометрии для диагностики ожирения, среди её клинических приложений отметим задачи оценки пищевого статуса и контроля эффективности лечения хронических заболеваний (Wang et al., 2000). Антропометрические методы применяются также для оценки регионального состава тела.

Подводя итоги отметим, что результаты антропометрического обследования могут существенно отличаться при выполнении измерений разными специалистами и при использовании различных типов калиперов и формул для определения состава тела. Искусство калиперометрии требует точного определения участка измерения и захвата кожи лишь с подкожным слоем жира, но не с другими тканями. Отличия результатов измерений толщины складки, выполненных у одного и того же индивида разными специалистами, не должны превышать 5–10%. По сравнению с металлическими калиперами, традиционно применяемыми в клинических исследованиях, точность определения толщины складок пластиковыми калиперами, как правило, более низкая. Ошибка определения %ЖМТ в сравнении с эталонными методами должна находиться в пределах 3–8%. У людей с высоким относительным содержанием жира в организме для определения %ЖМТ рекомендуется вместо формул на основе калиперометрии использовать формулы на основе измерения обхватных размеров тела. Аналогичные формулы более точны и при определении скелетно-мышечной массы тела.

В целом, антропометрия даёт в распоряжение специалистов набор простых, недорогих и сравнительно надёжных способов определения жировой и мышечной массы тела. Недостатки и ограничения антропометрии связаны с отсутствием единых стандартов измерений и универсальных формул для оценки состава тела, а также с необходимостью проведения измерений хорошо обученным персоналом. Перспективы применения антропометрии для изучения состава тела связаны с проверкой надёжности уже существующих, а также с разработкой и использованием новых формул для различных популяций на основе сопоставления с результатами эталонных методов. Использование антропометрических данных позволяет повысить точность ряда других методов определения состава тела, таких как биоимпедансный анализ. Антропометрия остаётся одним из наиболее распространённых методов определения состава тела.

Глава 3

Методы на основе измерения плотности и объёма тела

3.1. Гидростатическая денситометрия

Метод гидростатической денситометрии² наиболее активно использовался в 1950–1990-е годы и до последнего времени рассматривался в качестве эталонного метода изучения состава тела в двухкомпонентной модели. Большинство регрессионных формул для определения состава тела на основе антропометрии и биоимпедансного анализа (см. п. 4.2) было получено путём сопоставления результатов измерений с данными гидростатической денситометрии. В связи с развитием биофизических методов изучения состава тела (гл. 4) в настоя-



А. Бенке¹(1903–1996)

¹Фотография является собственностью военно-морского флота США и находится в открытом доступе. Разрешения на публикацию не требуется.

²Сокращённое название — гидроденситометрия. Синонимы — подводное взвешивание, гидростатическое взвешивание.



Рис. 3.1. Стационарная установка для гидростатического взвешивания. Момент начала измерений

рии основан на различиях плотности жира и безжировой массы тела: плотность липидов меньше, а остатка — больше плотности воды. Если предположить, что указанные плотности известны, то состав тела можно определить, измеряя обычный вес тела и вес тела в воде. Эти данные, вместе с результатами измерения остаточного объёма лёгких, используются для оценки плотности тела с последующей подстановкой полученных значений в одну из формул двухкомпонентной модели состава тела.

Методика измерений. Как правило, обследование проводится в специально оборудованном помещении.

1. Сначала определяют массу тела пациента на медицинских весах с точностью до 50 г.

2. Измерение веса тела в воде проводится при помощи механических или электронных весов в резервуаре воды, объём которого составляет до 4–5 м³ и более (рис. 3.1). Для определения плотности воды в резервуаре измеряют её температуру.

3. Обследуемый входит в резервуар воды и садится на стул для подводного взвешивания, высота которого должна быть отрегулирована так, чтобы в надводном положении оставалась лишь голова.

4. Обследуемый надевает дыхательную трубку, соединённую с газоанализатором, для измерения остаточного объёма

шее время частота использования гидроденситометрии снижается с постепенной заменой её другими методами оценки жировой массы, такими как воздушная плетизмография и двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.

Первое описание метода гидростатической денситометрии содержится в работе американского физиолога и врача Альберта Бенке (А. Behnke), который усовершенствовал способ Архимеда для определения плотности тела путём введения измерений остаточного объёма лёгких (Behnke et al., 1942). Метод гидростатической денситометрии

лёгких (ООЛ)³ на основе одной из стандартных процедур (см. ниже).

5. После завершения процедуры измерения ООЛ обследуемый выдыхает максимальное количество воздуха, вынимает изо рта дыхательную трубку и, не возобновляя дыхания, медленно погружается с головой в воду на 10–15 с. В это время проводится измерение веса тела в воде, диапазон значений которого для разных индивидов составляет обычно от –10 кг до +10 кг. Границы данного диапазона наблюдаются у массивных индивидов с высоким и низким относительным содержанием жировой массы, соответственно.

6. Плотность тела вычисляется по формуле

$$\text{Пт} = \frac{\text{Вт}}{(\text{Вт} - \text{Вт}_в) / \text{Пв} - (\text{ООЛ} - 0,1)}, \quad (3.1)$$

где Вт — обычный вес тела, $\text{Вт}_в$ — вес тела в воде, Пв — плотность воды, а ООЛ — остаточный объём лёгких.

7. Для повышения надёжности результатов оценки плотности тела измерение веса тела в воде повторяют 7–10 раз. Вся процедура занимает от 45 мин до 1 часа.

8. На основе значения Пт по одной из формул двухкомпонентной модели (табл. 1.1 на стр. 24) вычисляется процентное содержание жира в организме (%ЖМТ).

Определение остаточного объёма воздуха в лёгких различными способами описано в отечественной литературе Л.Л. Шиком, Р.А. Кандором и соавт. в 1939 году. Подробное описание способов измерений ООЛ также приводится в (Going et al., 1996). Один из способов заключается в следующем [цит. по (Мартиросов, 1982)]:

1. В течение 1–2 мин струёй чистого кислорода, поступающего из баллона через автоматический кислородный прибор, промывается загубник, шланг, ведущий к загубнику, и мешок Дугласа (2–3 раза). Затем испытуемому предлагают в течение 5–7 мин дышать кислородом.

³Различают следующие лёгочные объёмы: функциональная остаточная ёмкость лёгких (ФОЕ) — это разность между уровнем спокойного выдоха и максимального вдоха; резервный объём выдоха ($\text{РВ}_{\text{вд}}$) — это разность между уровнем спокойного и максимального выдоха; остаточный объём лёгких (ООЛ) — это объём воздуха, остающийся в лёгких после максимального выдоха; дыхательный объём (ДО) — это разность между уровнями спокойного вдоха и спокойного выдоха (Бербенцова, 1998).

2. Выдыхаемый воздух собирают в мешок Дугласа и пропускают через газоанализатор.

3. Анализ выдыхаемого воздуха на концентрацию азота проводится на лабораторном интерферометре ИТР-1 (в других методиках применяются аппараты Холдена, Орса и Гемпеля).

4. Интерферометр позволяет быстро (за 1–2 мин) и с высокой точностью определить в смеси количество вымываемого из лёгких азота. Остаточный объём воздуха в лёгких рассчитывается по количеству азота с поправкой на давление и температуру воздуха в помещении.

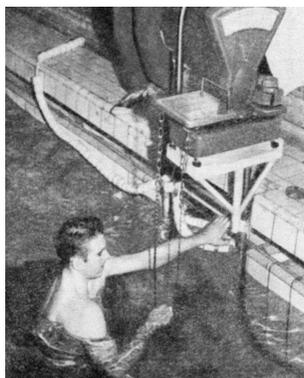


Рис. 3.2. Портативное устройство для гидростатического взвешивания (Жданова, 1962)

Описанный способ измерения ООЛ имеет название *метода открытого контура*. Измерение ООЛ также проводят с использованием *замкнутого контура* при введении и последующем измерении равновесной концентрации одного из индикаторных газов, в качестве которого используются азот, кислород или гелий. Оба метода дают эквивалентные по точности результаты (Going, 1996).

Важное требование состоит в проведении измерений ООЛ для оценки состава тела непосредственно в ходе процедуры взвешивания в воде. При измерении ООЛ вне резервуара воды средняя разность получаемых оценок ООЛ может достигать 100–200 мл, что соответствует ошибке определения %ЖМТ на уровне 0,7–1,4% (Going et al., 1996). Иногда вместо измеренного значения ООЛ берётся априорная оценка. Известно, что в этом случае ошибка определения %ЖМТ может удваиваться и доходит до 400 мл.

В странах Восточной Европы метод гидростатического взвешивания наиболее активно применялся чешским антропологом Я. Паржизковой, предложившей регрессионные формулы для определения состава тела у детей (Pařízková, 1977; Pařízková, Hills, 1998). В Советском Союзе аналогичные исследования проводились в Киеве (Ханина, 1957, 1962), Москве (Жданова, 1962; Лутовинова, Чтецов, 1969) и других городах. В НИИ антропологии МГУ им. М.В. Ломоносова для оценки состава тела методом гидроденситометрии использовался специальный бассейн из прочного оргстекла со стальным каркасом размером 6 × 4 × 2 м

с пружинными весами, подвешенными к массивной потолочной балке (М. И. Уткина, частное сообщение). На рис. 3.2 показано портативное устройство для гидростатического взвешивания, описанное в работе А. Г. Ждановой (1962), с использованием обычных торговых весов. Данная конструкция устанавливается на кромке плавательного бассейна.

На рис. 3.3 показана стационарная малогабаритная установка для гидроденситометрии с использованием переоборудованных циферблатных почтовых весов, сконструированная в Латвийском государственном институте физической культуры (Бунимович, 1966). Для проведения измерений в такой установке отдельного помещения не требуется.

Использование пружинных весов для оценки состава тела методом гидроденситометрии оправдано при проведении скрининговых и полевых обследований (Going, 1996). Ряд важных преимуществ имеет распространённая на Западе автоматизированная система подводного взвешивания, усовершенствованная Акерсом и Бускирком (Akers, Buskirk, 1969), с использованием вместо подводного стула и механических весов прямоугольной платформы для взвешивания с четырьмя динамометрическими датчиками. Данная конструкция обладает повышенной устойчивостью и возможностью непрерывной регистрации данных. Поэтому при её использовании можно обойтись тремя, а не 7–10 (как в приведённой выше методике), последовательными измерениями веса тела в воде. Такая разновидность метода подводного взвешивания рекомендуется для мониторинга изменений состава тела на индивидуальном уровне.



А. Г. Жданова

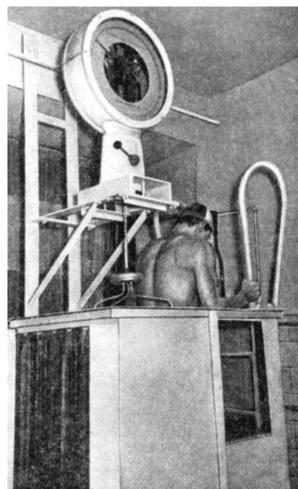


Рис. 3.3. Стационарная малогабаритная установка для гидроденситометрии (Бунимович, 1966)

Воспроизводимость метода. Принято считать, что средняя величина разброса результатов оценки процентного содержания жира в организме методом подводного взвешивания для последовательных измерений, выполненных у пациента одним и тем же оператором, не превышает 2,5%. Основным источником погрешности метода связан с отсутствием кооперации между пациентом и оператором, а также с недостаточным вниманием и/или уровнем подготовки последнего. В ходе масштабной проверки оборудования для гидроденситометрии оказалось, что для многих устройств воспроизводимость результатов измерений оказалась ниже должных значений (Lohman et al., 1981; Katch et al., 1984).

Точность метода⁴. Прямое сопоставления результатов гидроденситометрии с данными химического анализа состава тела не проводилось (Clarys et al., 1999). Для оценки состава тела методом гидроденситометрии предполагается, что плотность безжировой массы тела у всех индивидов в исследуемой популяции одинакова. Однако в общем случае это предположение неверно. Безжировая масса тела неоднородна и состоит из внутренних органов, воды, костных, мышечных тканей и других компонентов, относительное содержание которых в организме может варьировать. Так, например, плотность костных тканей у спортсменов более высокая, а у пожилых людей более низкая, чем в общей популяции. Для учёта половых, возрастных и этнических особенностей состава тела были предложены уточнённые формулы двухкомпонентной модели (Harsha et al., 1978; Roche et al., 1996).

Ограничения и недостатки метода. Метод гидростатического взвешивания применяется в стационарных условиях для обследования здоровых взрослых людей. Как правило, для проведения измерений используется громоздкое и дорогостоящее оборудование, требующее постоянного профилактического ухода. Процедура измерений довольно продолжительная (до 1 часа). В связи с необходимостью полного погружения применимость метода ограничена у детей, пожилых людей и больных некоторыми заболеваниями, включая инфекционные. При наличии у обследуемого боязни погружения надёжность оценки состава тела методом гидроденситометрии снижается.

⁴Под "точностью" в исследованиях состава тела обычно понимается величина стандартной ошибки по сравнению с эталонным методом.

3.2. Волюмиметрия

Гидростатическая денситометрия представляет собой достаточно трудоёмкий способ определения состава тела. Практическая альтернатива состоит в использовании метода волюмиметрии, связанного с измерением объёма или веса воды, вытесняемой телом при погружении (Башкиров, 1954; Vanerjee, 1958). Волюмиметрия известна также как *метод водного погружения*, который применяется с конца XIX в. в биомеханике для определения объёмов сегментов тела. Для измерения объёма тела используется специальное устройство — волюминометр.

Волюминометр, модифицированный инженером А. В. Егоровым (рис. 3.4) в 1966 г., представляет собой металлический сосуд, сообщающийся со стеклянной изогнутой трубкой (“змеевиком”), показывающей уровень воды в сосуде. Трубка расположена на фоне градуированной шкалы, одно деление которой соответствует 40 мл. По показаниям уровня воды определяется объём тела. Разрешающая способность измерения объёма, равная 40–80 мл, достигнута благодаря уменьшению площади водного “зеркала”, т. е. размеров свободной водной поверхности волюминометра, которые для данного устройства составляют 40×60 см. Из обсуждения в п. 3.1 следует, что указанная разрешающая способность в принципе позволяет получать надёжную оценку средних групповых значений. Для повышения точности определения плотности тела измеряется остаточный объём лёгких и вносится поправка на объём воздуха в пищеварительном тракте, а также измеряется температура воды в резервуаре (все данные приводятся к температуре 4°C, при которой плотность воды равна 1 г/мл). Плотность тела рассчитывается как частное от деления массы тела на его объём.

Ввиду возможности транспортировки оборудования волюмиметрия применялась в нашей стране для оценки физического развития и определения состава тела у представителей различ-

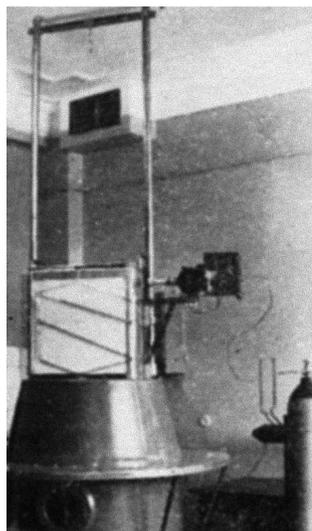


Рис. 3.4. Волюминометр конструкции А. В. Егорова

ных профессиональных групп и в труднодоступных регионах. Большое количество исследований такого рода было выполнено А.Г. Ждановой (1972).

3.3. Воздушная плетизмография

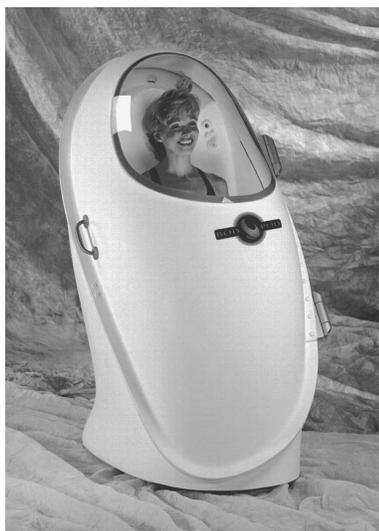


Рис. 3.5. Плетизмограф BOD POD (*Life Measurement Instruments*, США). Внешний вид

Для оценки содержания жира в организме наряду с гидростатической денситометрией и волюмометрией в последние годы применяется плетизмографический метод (от греч. *plēthysmos* — увеличение), основанный на использовании герметичной камеры, заполненной безвредным для человека газом. После ряда относительно неудачных попыток реализации метода (Walser, Stein, 1953; Комоцкий, 1963; Gnaedinger et al., 1963; Gundlach et al., 1980; Taylor et al., 1985; Gundlach, Visscher, 1986) компания *Life Measurement Instruments* (США) в 1994 году разработала устройство BOD POD (Dempster, Aitkens, 1995), хорошо себя зарекомендовавшее на практике. В отличие от гидроденситометрии, в ходе измерений обследуемый находится не в воде, а в небольшой специально сконструированной герметичной кабине, заполненной обычным воздухом (рис. 3.5). Данная разновидность плетизмографии имеет название *метода воздушной плетизмографии* (*air-displacement plethysmography*). Довольно быстро метод приобрёл популярность и всё чаще используется в научно-исследовательских центрах, медицинских лабораториях и спортивно-оздоровительных учреждениях США, Японии, Великобритании и других стран (в настоящее время в мире эксплуатируется около 400 таких приборов).

Устройство представляет собой жёсткую двустенную конструкцию из стеклопластика размером 155×86×132 см и весом около 140 кг (рис. 3.6). Оно имеет два отсека. Передний (тестовый) отсек

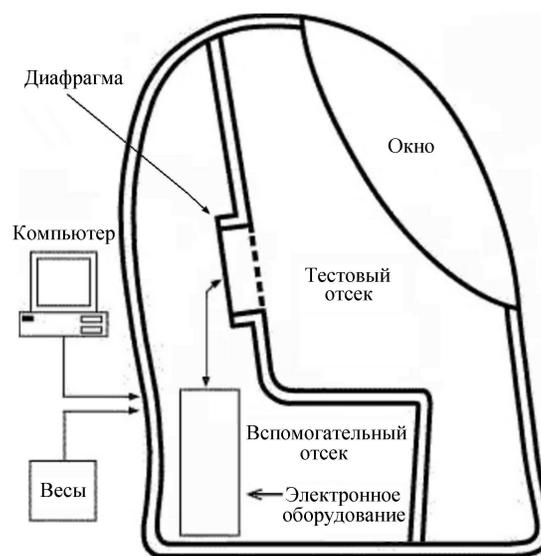


Рис. 3.6. Плетизмограф BOD POD. Общая схема

с окном широкого вида предназначен для обследуемого, в нём имеется сидение, образующее общую перегородку со вспомогательным отсеком, служащим в качестве контрольного объёма. Объём отсеков составляет 450 и 300 л, соответственно. Они отделены друг от друга упругой непроницаемой мембраной. В ходе обследования мембрана совершает колебания, вызывая малые изменения давления воздуха внутри отсеков. Регистрируемые данные об изменении давления воздуха поступают в компьютер, где преобразуются при помощи встроенного программного обеспечения в оценку объёма тела и, в конечном итоге, в оценку состава тела с использованием подходящей формулы двухкомпонентной модели.

Методика измерений. За 12 ч до обследования рекомендуется воздержаться от приёма пищи и алкоголя, а также от интенсивных физических упражнений. В это время не следует применять увлажняющие лосьоны, необходимо поддерживать обычный питьевой режим. Перед началом измерений проводят калибровку устройства по прилагаемой инструкции при помощи металлического цилиндра известного объёма (50 л). Рекомендуется использование стандартизованной одежды — плавок или купального костюма, а также облегчающей шапочки для купания. Перед обследованием необходимо снять ювелирные украшения.

1. Сначала определяют длину и массу тела пациента.

2. Затем обследуемый садится в тестовый отсек установки. Пациенту рекомендуется сохранять спокойное дыхание в неподвижном положении. Дверь за ним герметично закрывают. Измерения длительностью 45–50 с проводят два раза, в промежутке между ними тестовый отсек открывается.

3. В случае, если полученные значения объёма тела отличаются более чем на 150 мл, измерение повторяют, и в качестве предварительной оценки объёма тела берётся среднее от двух наиболее близких значений.

4. Измеряют функциональную остаточную ёмкость лёгких. Для этого испытуемый надевает носовой зажим и подключается к дыхательному аппарату при помощи трубки, соединённой со вспомогательным отсеком. Пациент получает указание сохранять спокойное дыхание, пока на середине очередного выдоха устройство не вызовет трёхсекундную окклюзию дыхательных путей. В этот момент на основе измерения давления в лёгких оценивается их объём, а полученные данные используются для окончательной оценки объёма тела. В момент окклюзии лёгких пациент должен мягко напрячь и расслабить диафрагму (в результате получается лёгкий выдох, как при протирке посуды), это необходимо для автоматической количественной оценки степени соответствия поведения пациента условиям теста. Если значение величины соответствия больше единицы, то всю процедуру повторяют заново (что, как правило, случается редко). Общая длительность обследования составляет около 4 мин.

Приведённые методические рекомендации составлены с учётом данных о влиянии на результат измерений формы одежды обследуемого (Fields et al., 2000), его поведения в тестовом отсеке (Taylor et al., 1985), а также наличия или отсутствия облегающей шапочки на голове (Dempster, Aitkens, 1995; McCrory et al., 1995).

Для вычисления объёма воздуха в тестовом отсеке используется закон Бойля-Мариотта, гласящий, что в замкнутой системе при заданных температуре и массе воздуха произведение давления воздуха на его объём постоянно. Предварительную оценку объёма тела ($V_{\text{пред}}$) определяют в виде разности между значениями объёма воздуха в тестовом отсеке до и во время обследования. Для вычисления истинного объёма тела ($V_{\text{ист}}$) вносится поправка на объём воздуха в лёгких и учитывается изменение температуры воздуха, вызываемое присутствием пациента в тестовом отсеке.

вом отсеке. Используется следующая формула (Dempster, Aitkens, 1995):

$$V_{\text{ист}} = V_{\text{пред}} + 0,4 \times V_{\text{л}} - V_{\text{пов}}. \quad (3.2)$$

В этой формуле $V_{\text{л}}$ — объём воздуха в лёгких, определяемый на завершающем этапе обследования. $V_{\text{пов}}$ — это так называемый артефакт площади поверхности тела, т.е. объём приповерхностного слоя воздуха с изменённой температурой, определяемый соотношением

$$V_{\text{пов}} = -k \times S_{\text{пов}},$$

где $S_{\text{пов}}$ — площадь поверхности тела, а k — некоторая константа. Величина $S_{\text{пов}}$ определяется по формуле Дюбуа (Du Bois, Du Bois, 1989):

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

Величину $V_{\text{л}}$ иногда оценивают приближённо по формуле

$$V_{\text{л}} = \text{ФОЕ} + 0,5 \times \text{ДО}, \quad (3.3)$$

где ФОЕ — функциональная остаточная ёмкость лёгких — определяется на основе регрессионной зависимости, построенной для здоровых взрослых людей (возраст от 17 лет до 91 года) путём сопоставления с результатами оценки ФОЕ методом разведения гелия (Sparo et al., 1982):

$$\text{ФОЕ} = 0,0472 \times \text{Длина тела (см)} + 0,0090 \times \text{Возраст (лет)} - 5,290, \quad (3.4)$$

а ДО — дыхательный объём лёгких, который берётся равным 1,2 л у мужчин и 0,7 л у женщин [цит. по: (Biaggi et al., 1999)].

По величине $V_{\text{ист}}$ и массе тела определяется плотность тела. Процентное содержание жира в организме вычисляется по формуле (Siri, 1961):

$$\% \text{ЖМТ} = (495/\text{ПТ}) - 450,$$

где ПТ — плотность тела, измеряемая в кг/л.

Изучение состава тела в общей популяции у мужчин и женщин разного возраста, этнической принадлежности и степени полноты (возраст от 20 до 56 лет, $n = 68$) показало более высокую надёжность метода ВП по сравнению с гидроденситометрией (ГД): коэффициенты вариации оценки %ЖМТ для двух последовательных измерений методами ВП и ГД составили $1,7 \pm 1,1\%$ и $2,3 \pm 1,9\%$,

соответственно (статистически значимые различия отсутствовали), а средняя разность оценок %ЖМТ оказалась равной $-0,3 \pm 0,2\%$ (McCrory et al., 1995).

В работе (Biaggi et al., 1999) была установлена высокая корреляция ($r = 0,944$) значений %ЖМТ, полученных на основе методов ВП и ГД для группы здоровых взрослых людей ($n = 47$), а средняя разность оценок %ЖМТ соответствовала полученной в работе (McCrory et al., 1995). При этом было выявлено систематическое занижение оценки величины %ЖМТ методом ВП по сравнению с ГД у мужчин (на $-1,24 \pm 3,12\%$) и завышение у женщин (на $+1,02 \pm 2,48\%$). Была высказана гипотеза, что наблюдаемые отклонения от среднепопуляционных значений у мужчин можно объяснить большей выраженностью волосяного покрова, а у женщин соответствующее отклонение было компенсаторным, так как калибровка метода ВП по результатам гидростатической денситометрии проводилась для смешанной популяции. Таким образом, была установлена применимость метода ВП для групповых исследований и сделан вывод о необходимости учёта половых различий при построении соответствующих формул.

Сопоставление результатов применения ВП и других методов оценки состава тела (ИМТ, биоимпедансный анализ, калиперометрия) у 62-х здоровых взрослых людей среднего возраста (от 31 года до 46 лет) показало наилучшее соответствие метода ВП результатам двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА), выбранной в качестве эталона (Sardinha et al., 1998). Стандартная погрешность оценки величины %ЖМТ методом ВП составила 2,6% (%ЖМТ= $23,4 \pm 7,0$ и $26,0 \pm 7,4\%$, соответственно), указанные различия были статистически значимы ($p < 0,05$).

Без непосредственного измерения ФОЕ можно, в принципе, обойтись, если воспользоваться формулами (3.3)–(3.4) и априорными оценками ДО для мужчин и женщин. Для сравнения получаемых оценок %ЖМТ было проведено обследование 50 здоровых взрослых людей в возрасте от 18 до 56 лет (McCrory et al., 1998). В отличие от метода ГД, существенных различий среднегрупповых показателей %ЖМТ в этом случае не наблюдалось ($0,2 \pm 0,2\%$ ЖМТ, или $53,5 \pm 63,3$ мл). На индивидуальном уровне, в пределах 2%-ной погрешности вычисления %ЖМТ находилось 82% результатов измерений (максимальные отклонения от $-2,9$ до 3% ЖМТ). Таким образом, приближённую оценку V_L по форму-

ле (3.3) можно использовать для сравнения среднегрупповых показателей %ЖМТ и при скрининге популяции здоровых взрослых людей. Ввиду относительной простоты данный способ определения V_L рекомендуется в качестве стандарта для оценки состава тела методом ВП в клинике и эксперименте.

Проводилось сопоставление метода ВП с результатами ГД у 22-х здоровых детей в возрасте от 8 до 12 лет (Dewit et al., 2000). ДО и ФОЕ определяли на основе специфических для данного возраста формул (Zapletal et al., 1976; Rosenthal et al., 1993). Для вычисления %ЖМТ использовали следующую формулу (Wells et al., 1999):

$$\%ЖМТ = (527/ПТ) - 485,$$

где ПТ — плотность тела (кг/л). В результате получились близкие оценки средних значений ЖМТ ($6,9 \pm 4,0$ и $6,7 \pm 4,2$ кг, соответственно). При этом воспроизводимость оценки ЖМТ методом ВП оказалась выше (стандартная ошибка 0,38 и 0,68 кг, соответственно). Аналогичные результаты были получены при обследовании контрольной группы, состоящей из 10 здоровых взрослых людей. Сопоставление результатов оценки ЖМТ на основе ВП и ГД с методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии показало, что наблюдаемые отклонения в ту или иную сторону не имеют систематического характера. Однако более высокая воспроизводимость метода ВП, короткая длительность обследования и минимальная вероятность ошибок оператора делают метод ВП более предпочтительным. Несмотря на то, что ВП применяется и у детей более младшего возраста (до 4 лет), в этом случае возникает проблема недостатка данных для сравнения, так как применимость метода ГД в этой возрастной группе ограничена (обычно с процедурой ГД успешно справляются не более 2/3 детей).

Хорошее соответствие результатов ВП данным двухэнергетической абсорбциометрии было показано при обследовании 54 детей и подростков в возрасте от 10 до 18 лет (Lockner et al., 2000). Оценка плотности тела методом ВП оказалась в этом случае выше по сравнению с результатами ГД ($1,04657 \pm 0,01825$ против $1,04032 \pm 0,01872$ г/мл), различия статистически значимы. Среднее значение %ЖМТ, по данным ВП, хорошо коррелировало с результатами ДРА, но было в среднем на 2,9% меньше оценки методом ДРА. В результате был сделан вывод о возможности улучшения точности метода ВП у детей.

Методы ВП, ГД, ДРА и изотопного разведения были сопоставлены с четырёхкомпонентной моделью для оценки состава тела у 25 детей в возрасте от 9 до 14 лет (Fields, Goran, 2000). С 4К-моделью лучше коррелировали методы ВП и ГД, а в случае ВП отсутствовали статистически значимые различия средних значений %ЖМТ от данных четырёхкомпонентной модели. Оценка %ЖМТ методом ДРА оказалась систематически завышенной, что соответствовало результатам другой работы (Roemmich et al., 1997). Эти данные свидетельствуют о возможности использования ВП для оценки жировой массы у здоровых детей. Важность полученного результата обусловлена высокой стоимостью обследования по схеме 4К-модели, что затрудняет её широкое использование в клинической и амбулаторной практике.

Подводя итоги, отметим следующие *достоинства* метода ВП:

- неинвазивность: в ходе измерений обследуемому не надо погружаться в воду, как при ГД, что свидетельствует о возможности применения метода в клинических условиях и у пожилых людей;
- возможность обследования грудных детей и детей младшего возраста;
- быстрота обследования, приемлемая точность и надёжность получаемых результатов;
- простота применения: для проведения измерений не требуется длительного обучения оператора.

Среди *недостатков* метода ВП выделим следующие:

- при его использовании сохраняются все ограничения, характерные для метода ГД, связанные с измерением объёма;
- чувствительность результатов измерений к небольшим изменениям давления внутри помещения (например, при открывании или закрытии дверей где-либо в здании), а также к изменениям температуры и влажности воздуха.

В целом, даже при условии преодоления всех технических трудностей реализации методов ГД и ВП, остаётся проблема их ограниченной применимости на индивидуальном уровне ввиду значительных индивидуальных различий плотности безжировой массы тела. Следовательно, при отсутствии данных о композиции безжировой массы эти методы могут служить лишь для характеристики значительных изменений жировой массы. Ввиду того, что формулы 3К- и 4К-моделей состава тела содержат параметр плотности тела, систематическое применение метода ВП вместо ГД могло бы способствовать повышению их точности.

3.4. Альтернативные методы

Существуют другие методы определения объёма тела. Например, *метод определения плавучести*, который имеет много общего с гидроденситометрией. Вместо взвешивания индивида в воде определяется его “плавучесть”. Находясь в бассейне, обследуемый держит в руках бутылку, частично заполненную водой. Количество воды в бутылке изменяют до тех пор, пока во время полного погружения не установится нейтральное равновесие тела в воде. Соответствующий объём воды в бутылке, а также значения массы тела, ООЛ и другие показатели подставляются в формулу для определения объёма тела (Going, 1996). Метод определения плавучести можно использовать в скрининговых исследованиях. В указанной работе также приводится описание *метода разведения*, основная идея которого аналогична одноимённому способу оценки ООЛ.

Объём тела можно оценить с использованием компьютерной, магнитно-резонансной томографии и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (гл. 4), однако для этих целей указанные методы обычно не применяются. Другая возможность связана с использованием акустических волн или электромагнитного излучения.

В 1960–1970-х годах для определения объёма тела использовалась стереофотограмметрия (Hertzberg et al., 1957; Зациорский и др., 1974). Сущность метода заключается в том, что после одновременной фотосъёмки стереокамерой спереди и сзади данные обрабатываются специальным прибором (стереоавтографом) с построением сечений и контурных карт поверхности тела и оценкой объёмов сегментов тела человека. Из-за сложности и высокой стоимости аппаратуры в указанные годы стереофотограмметрия не нашла широкого применения [цит. по (Селуянов, 1978)].

В настоящее время аналогичные системы получения и обработки трёхмерного изображения используются в швейной промышленности для моделирования одежды. Одно из таких устройств, вы-



Рис. 3.7. Сканирующее устройство трёхмерной визуализации Body Line Scanner (Hamamatsu Photonics, Япония)

пускаемое японской приборостроительной компанией *Hamamatsu Photonics*, показано на рис. 3.7. Внешний вид устройства напоминает примерочную комнату, внутри которой расположены источники и детекторы инфракрасного излучения. (Соответствующий метод имеет название *инфракрасного*, или *фотонного, сканирования*.) Процесс сканирования тела занимает около 10 с. Полученные данные передаются в персональный компьютер и обрабатываются специальным программным обеспечением. Координаты точек на поверхности тела вычисляются с разрешением 5 мм. Встроенные алгоритмы позволяют определять площадь поверхности, объём тела и его отдельных сегментов, а также диаметры и обхватные размеры тела. Устройство удовлетворяет японским и немецким стандартам безопасности. Стоимость рабочего комплекса составляет около 100 тысяч долл. США. Метод инфракрасного сканирования имеет ряд потенциальных преимуществ по сравнению с другими методами измерения объёма тела ввиду высокой оперативности, неинвазивности и возможности частых повторных измерений. Однако предварительное изучение применимости метода для определения состава тела выявило значительное отклонение оценки объёма тела от результатов гидростатической денситометрии и метода воздушной плетизмографии, которое составило 570 мл, что соответствовало 4,1% ЖМТ (Wells et al., 2000). В указанной работе остаточный объём лёгких оценивали по данным антропометрии (на основе измерения длины и массы тела). Был сделан вывод, что непосредственное измерение объёма лёгких могло бы повысить точность метода инфракрасного сканирования.

Глава 4

Биофизические методы

4.1. Методы разведения индикаторов

За исключением случаев крайне выраженного ожирения, наибольшую фракцию массы тела человека составляет вода (Ellis, Wong, 1998). Однородный молекулярный состав воды и её уникальные физико-химические и биологические свойства дают возможность определить содержание воды в организме на основе метода изотопного разведения, рассматриваемого в качестве “золотого стандарта” гидрометрии. В качестве изотопов чаще используют оксиды дейтерия (D_2O), трития (3H_2O) и $H_2^{18}O$. Впервые идею применения метода разведения для изучения состава тела предложил Н. Кейт (Keith et al., 1915) и использовал его для определения объёма плазмы крови. Возможность применения радиоактивных и стабильных изотопов в методе разведения была показана американским учёным и врачом Фрэнсисом Дэниэлсом Муром (Moore, 1946).

Рассмотрим упрощённую схему метода разведения (Edelman et al., 1952). Предположим, что в организм вводится известный объём жидкости V_1 , в котором растворена некоторая метка в концентрации C_1 . Пусть эта метка распределяется равномерно в некотором неизвестном объёме V_2 , причём концентрация метки в организме до её введения равна нулю. Тогда, измеряя концентрацию метки



Ф. Мур (1913–2001)

после установления равновесия в системе, можно определить величину V_2 на основе закона сохранения массы:

$$C_1V_1 = C_2V_2, \quad (4.1)$$

где C_2 — концентрация метки после установления равновесия. Величина V_2 непосредственно определяется из этого соотношения, так как остальные величины в приведённой формуле известны.

Таким образом, возможность использования формулы (4.1) для определения объёмов водных секторов организма зависит от выполнения следующих условий:

1. Метка распределяется только в интересующем объёме жидкости;
2. Распределение метки равномерное;
3. Равновесие в системе устанавливается сравнительно быстро;
4. До установления равновесия метка и жидкость из организма не выводятся.

Если хотя бы одно из перечисленных условий не выполнено, то формулу (4.1) необходимо скорректировать. На практике для оценки общего содержания воды в организме, а также для определения объёма внеклеточной жидкости применяются уточнённые формулы с использованием постоянных сомножителей — *корректирующих факторов* — с учётом неравномерности распределения метки, частичного выхода метки в неводные сектора организма, длительного периода времени установления равновесия в системе и обмена жидкости (Schoeller, 1991; Bartoli et al., 1993).

Обычно метка вводится в организм орально или внутривенно. Интересующий объём жидкости определяют, зная отношение общего количества метки к её концентрации в рассматриваемом объёме через 3–4 часа после введения. Чаще всего на исследование берут три пробы биологической жидкости: первый раз — до введения метки для определения её естественной концентрации, а остальные два раза — после введения метки через некоторое время, достаточное для установления равновесия. Такая разновидность метода изотопного разведения имеет название *метода плато*. Общая формула метода плато имеет следующий вид (Ellis, 2000):

$$V = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot (D - E) / ([d_t] - [d_0]), \quad (4.2)$$

где D — количество введённой метки, E — количество метки, которое выводится до установления равновесия, $[d_t]$ — концентрация

метки в исследуемой пробе жидкости, взятой через время t после введения метки, $[d_0]$ — естественная концентрация метки, а k_i ($i = \overline{1,4}$) — корректирующие факторы, специфические для конкретного изотопа.

Дейтерий стал первым изотопом, на основе которого была получена оценка общего содержания воды в организме. Для определения количества дейтерия в исследуемых пробах жидкости используются инфракрасная спектрометрия, газовая хроматография, метод ЯМР и масс-спектрометрия. Некоторое время назад в связи с широким распространением сцинтилляционных счётчиков и относительной простотой соответствующей процедуры измерений вместо дейтерия чаще применялся тритий. Однако его использование сопряжено с воздействием на организм небольшой дозы радиации, которая составляет для одного обследования около 15 мгем. Поэтому наряду с тритием вновь вернулись к использованию дейтерия и, кроме того, в практику измерений вошёл устойчивый изотоп ^{18}O (в составе оксида водорода H_2^{18}O), ориентированный ввиду высокой стоимости обследования (около 100 долл.) прежде всего на применение у детей и женщин детородного возраста. Известно, что у взрослых людей объём, в котором разводятся дейтерий и тритий, на 4,2% больше, а для ^{18}O — на 0,7% больше объёма ОВО, при этом концентрация указанных изотопов в биологических жидкостях организма практически одинакова за исключением водяного пара в выдыхаемом воздухе и испарений с поверхности тела, где относительное содержание изотопов составляет 0,990 для ^{18}O , 0,945 для ^2H и 0,92 для ^3H при температуре 37°C [цит. по (Schoeller, 2005)].

Методика измерений. Существует несколько стандартных способов оценки объёма ОВО. Ниже приводится методика измерений для взрослых людей методом плато, рекомендованная в (Schoeller, 2005):

1. Обследование проводится в утренние часы;
2. За 12–15 часов до начала обследования следует воздержаться от приёма пищи, а за 6–8 часов — от питья воды; в этот период следует избегать физических нагрузок и других условий, способствующих усиленному потоотделению;
3. Перед введением метки берётся для анализа проба биологической жидкости (плазмы крови, слюны или воды в выдыхаемом воздухе);

4. Проводится взвешивание пациента, при этом вес находящейся на нём одежды должен быть минимален;
5. Из специального контейнера орально внутрь вводится известное количество метки, после этого, во избежание осаждения метки на стенках контейнера, необходимо налить в него 50 мл воды, тщательно взболтать и дать выпить пациенту;
6. До взятия последней пробы пациенту следует воздержаться от приёма воды и пищи;
7. Пробы биологической жидкости берутся на исследование через 3 и 4 часа после введения метки; при повышенном относительном содержании ВКЖ пробы берутся через 4 и 5 часов после введения метки;
8. До момента исследования пробы должны содержаться в герметично закрытых сосудах;
9. Пробы, полученные после введения метки, должны давать оценки, лежащие в пределах двух стандартных отклонений для соответствующих изотопов.

Наряду с искусственно синтезированными изотопами, для оценки общего содержания воды в организме использовались антипирин, этанол и некоторые другие вещества. Однако это сопряжено с методологическими трудностями ввиду быстрой утилизации упомянутых веществ до установления равновесия в системе, а также их неравномерного распределения в различных водных секторах организма.

Вместо метода плато иногда выполняют серию последовательных анализов биологических жидкостей на содержание метки с экстраполяцией полученных данных на начальный момент времени. Данный способ оценки объёмов водных секторов организма имеет название *метода обратной экстраполяции* (Edelman et al., 1952; Schoeller, 1996). Пробы биологических жидкостей берут в течение двух недель после введения метки, а интересующий начальный объём жидкости определяют, находя точку пересечения построенного графика зависимости объёма жидкости от времени с осью ординат. В этом случае не требуется коррекции результатов с учётом выведения метки из организма.

Методы плато и обратной экстраполяции предъявляют различные требования к методике измерений. В первом случае минимизируется потребление жидкости в период между введением метки и

установлением равновесия в системе. Во втором случае для получения надёжной оценки объёма жидкости основной целью является поддержание постоянной скорости притока и оттока жидкости из организма на всём двухнедельном интервале взятия проб после введения метки (Schoeller, 2005). В результате, оба метода дают сопоставимые по точности результаты.

Воспроизводимость результатов оценки объёма воды в организме (ОВО) зависит от количества введённой метки и способа измерения её содержания в исследуемых пробах жидкости. Известно, что для большинства аналитических методов разброс результатов последовательного определения ОВО у одного и того же пациента не превышает 2–4% (характеристика воспроизводимости метода). При строгом соблюдении методических рекомендаций стандартная погрешность оценки ОВО методом изотопного разведения не превышает 1–2% [цит. по (Schoeller, 1996)].

На основе полученного значения ОВО по формуле (1.7) двухкомпонентной модели состава тела вычисляется процентное содержание жировой массы. Однако данная оценка получается достаточно грубой ввиду значительной вариации содержания жидкости в безжировой массе у различных индивидов в зависимости от пола, возраста, состояния здоровья и других факторов (Chumlea, Baumgartner, 1989). Это может приводить к значительной погрешности оценки %ЖМТ по сравнению с другими методами (Sheng, Huggins, 1979; Bunt et al., 1989). В целом, применение метода разведения для оценки жировой или безжировой массы тела оправдано лишь для проведения популяционных исследований при нормальном состоянии водного обмена у индивидов, относящихся к обследуемой популяции.

Для оценки объёма внеклеточной жидкости (ВКЖ) в качестве метки чаще используется бром (в составе бромистого натрия). Методика обследования в этом случае аналогична описанной выше. Измерение содержания брома в получаемых пробах проводится с использованием различных методов: флуорометрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии и нейтронного активационного анализа. Для оценки ВКЖ методом разведения также применяются меченые хлористые соединения, тиоцианат, тиосульфат, инсулин, маннитол и некоторые другие вещества. Подробная характеристика точности и воспроизводимости результатов измерений с анализом предположений, используемых для оценки объёмов водных секторов организма и состава тела методом разведения, приводится в (Schoeller, 2005).

Для оценки содержания клеточной жидкости (КЖ) ранее применялись короткоживущие радиоактивные изотопы калия ^{42}K . Однако в настоящее время такой способ используется редко в связи с низкой доступностью изотопов, а также в связи с развитием метода определения радиоактивности всего тела, дающего оценку общего содержания калия в организме. Поэтому чаще вместо ^{42}K одновременно оценивают ОВО и ВКЖ на основе разведения оксида дейтерия и бромистого натрия, соответственно, а оценку КЖ получают вычитанием ВКЖ из ОВО (Ellis, 2000). Однако в этом случае погрешность оценки КЖ определяется суммой погрешностей оценок ОВО и ВКЖ, поэтому получаемые оценки КЖ можно использовать лишь для сравнительной характеристики популяций, но не отдельных индивидов.

Выводы. Метод изотопного разведения является эталонным методом гидрометрии. С его помощью определяют объём воды в организме (на основе дейтерия, трития или ^{18}O), а также содержание внеклеточной жидкости (чаще с использованием Br). Содержание клеточной жидкости (КЖ) методом разведения определяют вычитанием ВКЖ из ОВО. Преимущества метода заключаются в высокой надёжности получаемых оценок ОВО и ВКЖ, низкой стоимости обследования (в случае дейтерия), а также в возможности применения метода в полевых условиях. К недостаткам метода разведения относятся большая продолжительность обследования (от нескольких часов до нескольких суток), необходимость внутривенного введения метки с последующим взятием крови на анализ, доза облучения, получаемая при использовании трития, а также высокая стоимость обследования в случае использования ^{18}O .

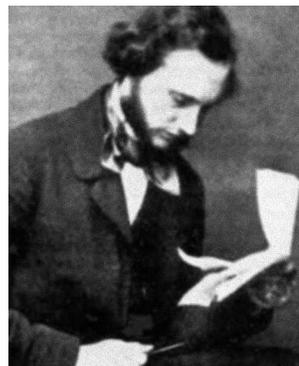
4.2. Биоэлектрические методы

4.2.1. Биоимпедансный анализ

Первое упоминание об исследовании электрической проводимости биологических объектов принято относить к работам В. Томсона¹, датированным 1880 г. Основополагающие результаты в этой области были получены в начале и середине XX в. К ним относятся

¹Вильям Томсон (W. Thomson, 1824–1907), с 1892 г. лорд Кельвин — англ. физик, президент Лондонского королевского общества (1890–1895). Дал одну из формулировок второго начала термодинамики, предложил абсолютную шкалу температур, разработал метод определения возраста Земли. Ему принадлежит ряд других крупных трудов, открытий и изобретений.

установление типичных значений удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости тканей, органов и жидких сред живого организма, а также выявление и частичное объяснение зависимости проводимости и диэлектрической проницаемости биологических жидкостей и клеточных суспензий от частоты зондирующего тока. С этими достижениями связаны имена Г. Фрике, К. Коула, Х. Швана и других исследователей.



В. Томсон

Основными проводниками электрического тока в организме являются ткани с высоким содержанием воды и растворёнными в ней электролитами.² В табл. 4.1 приведены типичные значения удельного электрического сопротивления некоторых биологических тканей для наиболее часто используемой в медицинской диагностике частоты тока 50 кГц. Из таблицы видно, что по сравнению с другими тканями организма жировые и костные ткани имеют существенно более низкую электропроводность. Различия удельного сопротивления объясняются прежде всего разным содержанием жидкости и электролитов в органах и тканях.

Важным свойством биологических тканей является зависимость их удельной проводимости и относительной диэлектрической проницаемости от частоты тока.³ В этом смысле принято говорить, что указанные электрические свойства биологических тканей обладают *дисперсией* (Шван, Фостер, 1980). На рис. 4.1 показан типичный график относительной диэлектрической проницаемости ϵ тканей мышц как функции частоты f . Аналогичная зависимость от частоты имеет место для удельного электрического сопротивления. Данные зависимости характеризуются наличием трёх различных механизмов релаксации (областей дисперсии), обозначаемых как α , β и γ . С точки зрения биоимпедансного анализа наибольший интерес представляет область β -дисперсии, соответствующая частоте тока в интервале от 1 кГц до 1 МГц,

²Проводимость биологических тканей имеет ионный характер. В отличие от металлов, очищенная вода не проводит электрический ток.

³Относительная диэлектрическая проницаемость вещества определяется как отношение ёмкости вещества C в расчёте на единицу объёма к электрической постоянной $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м. Удельная проводимость (σ) — это величина, обратная удельному электрическому сопротивлению ($\sigma = 1/\rho$).



Х. Шван⁴

так как частоты ниже 0,4–0,5 кГц не используются из-за эффекта электростимуляции тканей, а при значениях выше 0,5–1,0 МГц значительно усложняется техника измерений.

Удельное сопротивление биологических тканей, определяемое для заданной частоты тока, может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов: почки и лёгкие изменяют электропроводность при различном крове- и воздухонаполнении, мышечные ткани — при различной степени сокращения мышц, кровь и лимфа — при изменении концентрации белков и электролитов, очаги повреждения

Таблица 4.1. Типичные значения удельного электрического сопротивления некоторых биологических тканей (Шван, Фостер, 1980; Узбб, 1991)

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

⁴Херман Шван (1915–2005) — немецкий учёный, ученик русского биофизика Б. Раевского (1893–1974). В 1947 г. эмигрировал из Германии в США. Автор более 300 работ в области изучения диэлектрических свойств биологических тканей и материалов, взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами, а также биофизики ультразвука (Foster, 2002).

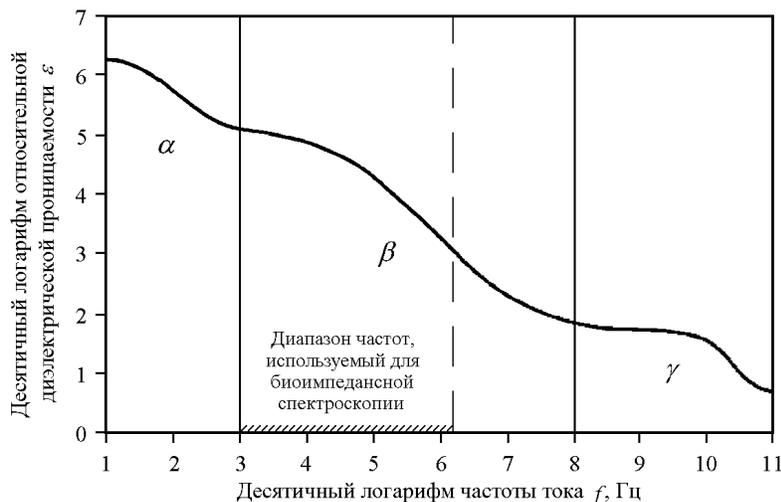


Рис. 4.1. Относительная диэлектрическая проницаемость мышечной ткани в зависимости от частоты тока (Шван, Фостер, 1980)

(по сравнению с нормальной тканью) — в результате отёков или ишемий различной природы, опухолей и других причин (Уэбб, 1991). Это позволяет использовать биоимпедансометрию для количественной оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях, 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 к тепловому рассеянию электрического тока. *Реактивное сопротивление* характеризуется смещением фазы тока относительно напряжения за счёт ёмкостных свойств клеточных мембран, способных накапливать электрический заряд на своей поверхности. Этот процесс практически не связан с выделением мощности.⁵

⁵В большинстве работ, относящихся к изучению электрических свойств биоло-

Существует несколько разновидностей биоимпедансного анализа, которые классифицируются по следующим трём признакам: 1) *по частоте зондирующего тока* — одночастотные, двухчастотные, многочастотные; 2) *по объекту измерений* — интегральные (объектом измерений служит значительная часть тела), локальные (измеряются отдельные участки тела или регионы), полисегментные (параметры всего организма устанавливаются на основе обработки результатов измерений составляющих его регионов); 3) *по тактике измерений* — одноразовые, эпизодические, мониторинговые.



Б.Н. Тарусов⁶

Первые приборы для измерения импеданса клеток и тканей организма были сконструированы в начале и середине 1920-х годов (Fricke, Morse, 1925; Cole, Curtis, 1935).⁷ В середине 1930-х годов в России выпускался прибор, имевший название СТ-1, для определения *коэффициента поляризации живых тканей*, измерявший отношение электрического сопротивления тканей на частоте 10 кГц и 1 МГц. С современных позиций, коэффициент поляризации характеризует отношение объёмов внеклеточной и общей жидкости биологического объекта. Одна из конструкций такого анализатора была

запатентована Б. Н. Тарусовым в 1939 г. (рис. 4.2) и применялась им для прогнозирования приживаемости трансплантантов и других целей (Тарусов, 1938, 1943). Среди многих других изобретений Тарусова — разработанные им в конце 1920-х годов гидростатические весы для взвешивания морских объектов с высокой точностью (до 0,001 г) (Бурлакова и др., 1983).

В зарубежных публикациях начало практического применения биоимпедансометрии для определения состава тела человека

гических тканей, индуктивная компонента реактивного сопротивления считается пренебрежимо малой и не рассматривается.

⁶Борис Николаевич Тарусов (1900–1977) — советский биофизик. Автор около 250 публикаций, в том числе по изучению электропроводности биологических тканей. В 1953 г. основал и до 1976 г. заведовал первой в нашей стране кафедрой биофизики на биологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова.

⁷Интересно отметить, что началу применения биоэлектрических методов определения состава тела человека предшествовали аналогичные работы в области геофизики, один из разделов которой, связанный с изучением геологического строения Земли, имеет название электроразведки (Дахнов, 1959).

принято связывать с работами французского анестезиолога Аугуста Луи Томассета [(Thomasset, 1962); см. также (Boulier et al., 1990)]. Он первым использовал данные биоимпедансного анализа для изучения динамики общей и внеклеточной жидкости и предложил рассчитывать объёмы этих жидкостей пропорционально отношению квадрата длины тела пациента и импеданса между тыльными сторонами кисти и диагонально расположенной стопы на частотах 1000 кГц и 5 кГц.



А. Томассет

Электрический импеданс биологических объектов измеряют при помощи специальных устройств — биоимпедансных анализаторов. В зависимости от используемого набора частот переменного тока биоимпедансные анализаторы относят к *одночастотным* (измерения производятся

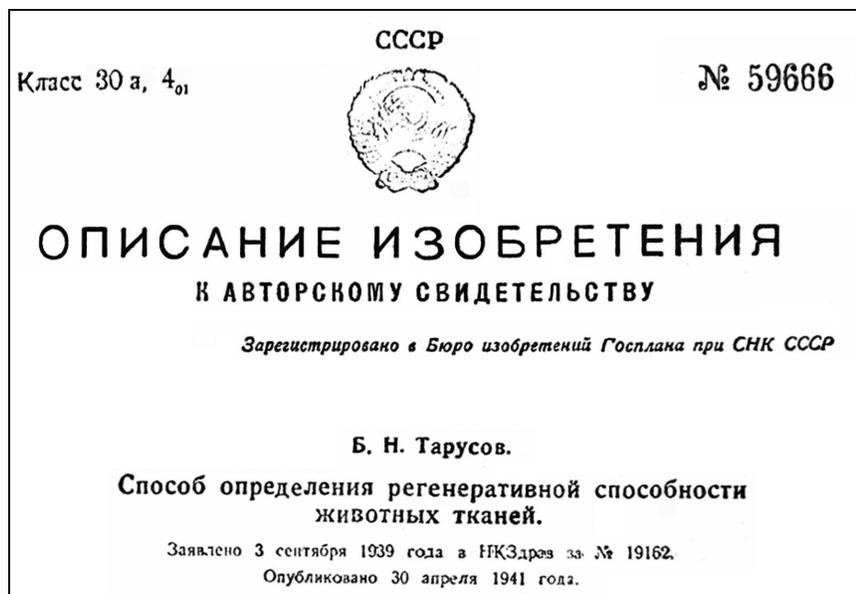


Рис. 4.2. Первая страница описания изобретения способа определения регенеративной способности животных тканей (Тарусов, 1939)



Рис. 4.3.
Биоимпедансный
анализатор RJL-101a
(*RJL Systems*, США)



Рис. 4.4.
Биоимпедансный
анализатор Quantum X
(*RJL Systems*, США)

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 спектрометрии*. Диапазон частоты тока, используемый при биоимпедансной спектрометрии, показан в виде заштрихованной части оси абсцисс на рис. 4.1.

В настоящее время выпускается большое количество различной аппаратуры для биоимпедансометрии. На рис. 4.3 показано одно из типичных для 1990-х годов устройств — одночастотный биоимпедансный анализатор RJL-101a (*RJL Systems*, США). В конце 1970-х и начале 1980-х годов фирма-производитель этого прибора вместе с компаниями *Valhalla Scientific* и *Space Labs* (США) стояла у истоков создания современной биоимпедансной техники. На рис. 4.4 показана портативная модель анализатора.

На низких частотах (менее 50 кГц) электрический ток в ткани проходит главным образом через межклеточную жидкость. При увеличении частоты зондирующего тока полное электрическое сопротивление биологических тканей снижается. В рассматриваемом интервале частот это объясняется емкостными свойствами клеточных мембран. При частоте тока 100 кГц и выше токи через межклеточную жидкость и внутриклеточное пространство становятся сравнимыми по величине. Поэтому в двухчастотном методе для оценки клеточной массы тела измеряют проводимость при более высокой частоте, а для оценки содержания межклеточной жидкости — при более низкой частоте тока.

Наряду с оценкой объема внутриклеточной жидкости и, следовательно, возможностями для изучения состава тела в трёх- и четырёхкомпонентных моделях, биоимпедансная спектрометрия позволяет оценить границы применимости и точность одночастотного

метода. В работе (Ward, Stroud, 2001) изучался вопрос обоснованности выбора частоты 50 кГц для одночастотного метода. Было показано, что в случае использования *характеристической частоты*, соответствующей максимуму реактивного сопротивления тканей, точность биоимпедансного анализа может быть существенно повышена. Полученные в указанной работе оценки характеристической частоты составили 29 кГц для мужчин и 37 кГц для женщин.

Чаще всего для биоимпедансометрической оценки состава тела применяются формулы, основанные на использовании активного сопротивления R (табл. 4.2). Эти формулы базируются на простом соотношении для электрического сопротивления однородного 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. Проблема применения указанного соотношения к анализу живых систем состоит в том, что биологические ткани неоднородны по своему составу и обладают анизотропией. Например, проводимость мышц зависит от взаимной ориентации направления тока и мышечных волокон (Geddes, Baker, 1967). Кроме того, площадь поперечного сечения тела вдоль направления зондирующего тока сильно варьирует в зонах, наиболее интересных для анализа.

В норме при подключении электродной системы голень–запястье 90–95% импеданса всего тела составляет импеданс конечностей. 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; Враско et al., 1996; Zhu et al., 1998).

Для построения оценок объёмов водных секторов организма и клеточной массы тела методом биоимпедансного анализа в качестве эталона обычно используют методы изотопного разведения и определения естественной радиоактивности всего тела, для оценки жировой и безжировой массы тела — гидростатическую денситометрию, двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию, а также сочетания указанных методов. Относительно недавно для биоимпедансометрической оценки массы скелетной мускулатуры

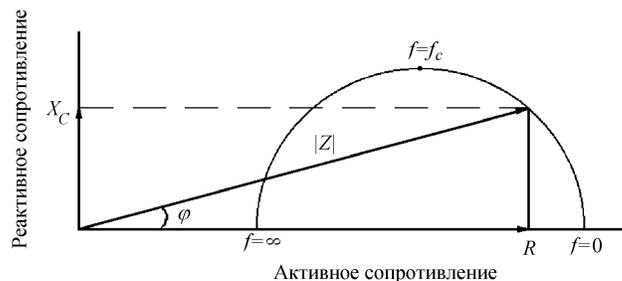


Рис. 4.5. Фазовый угол

были использованы результаты магнитно-резонансной томографии (Janssen et al., 2000).

Как и в случае антропометрии, формулы для определения состава тела на основе биоимпедансного анализа обладают свойством популяционной специфичности. Для повышения точности оценок состава тела некоторые формулы наряду с характеристиками импеданса и длины тела содержат дополнительные параметры, такие как пол, возраст, масса тела и этническая принадлежность (табл. 4.2).

Важной характеристикой электрической проводимости тканей является отношение их ёмкостного и активного сопротивлений (рис. 4.5):

$$\operatorname{tg} \varphi = X_C/R. \quad (4.3)$$

Величина φ в этом уравнении имеет название *фазового угла*, который характеризует сдвиг фазы переменного тока относительно напряжения. Полуокружность на рис. 4.5 (график Коула–Коула) описывает теоретическую зависимость между активным и реактивным сопротивлением тканей при изменении частоты тока f от 0 до $+\infty$ (Шван, Фостер, 1980). Верхняя точка полуокружности соответствует максимальному значению реактивного сопротивления тканей и *характеристической частоте тока*. 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 $7,6 \pm 1,0^\circ$ у мужчин и $6,9 \pm 1,3^\circ$ у женщин (пределы изменения от 3 до 10°) (Liedtke, 1997). При увеличении частоты тока эта величина варьирует в более широких пределах [цит. по (Ellis, 2000)]. Пониженные значения X_C связывают с нарушением диэлектрических свойств клеточных мембран

Таблица 4.2. Некоторые формулы для оценки общего содержания воды в организме, внеклеточной жидкости, безжировой массы тела и массы скелетной мускулатуры на основе биоимпедансного анализа [(Baumgartner, 1996), с добавлениями]

Возраст (лет)	Кол-во, пол	Формула	Станд. ошибка	Ссылка	
<i>Формулы для оценки ОВО, одночастотный метод (50 кГц)</i>					
III	4–7 дней	17	$235,8(МТ \cdot ДТ^2/R)+567$	0,76 л	Mayfield et al., 1991
	<3	65	$0,67(ДТ^2/Z)+0,48$	0,36 л	Fjeld et al., 1990
	5–18	14ж,12м	$0,60(ДТ^2/R)-0,50$	1,69 л	Davies et al., 1988
	35–65	67ж,72м	$0,24(ДТ^2/R)+0,172МТ+0,165ДТ+0,039(Пол \cdot МТ)-17,577$	3,47 л	Heitmann, 1990
	19–65	20ж,20м	$0,556(ДТ^2/R)+0,096МТ+1,73$	1,75 л	Kushner, Schoeller, 1986
	19–42	37м	$0,63(ДТ^2/R)+2,03$	2,03 л	Lukaski et al., 1985
	20–73	28ж,25м	$0,372(ДТ^2/R)+3,05Пол+0,142МТ-0,069Возраст$	1,61 л	Lukaski, Bolonchuk, 1988
	19–61	20ж,88м	$0,484(ДТ^2/R)+0,144МТ+1,356Пол+0,105X_C-0,057Возраст$	1,53 л	Zillikens, Conway, 1991
<i>Формулы для оценки ОВО, одночастотный метод (50 кГц)</i>					
10–14	41ж,53м	$0,83(ДТ^2/R)+4,43$	2,60 кг	Houtkooper et al., 1989	
7–15	166	$0,406(ДТ^2/R)+0,36МТ+5,58ДТ+0,56Пол-6,48$	1,68 кг	Deurenberg et al., 1991	
7–25	140м	$0,156(ДТ^2/R)+0,646МТ+0,475ОП-0,116СГ-0,375ПМ-2,932$	2,31 кг	Guo et al., 1987	
7–25	110ж	$0,182(ДТ^2/R)+0,682МТ-0,185СГ-0,244СТ-0,202ПЛ+4,338$	2,23 кг	Guo et al., 1987	
17–59	41ж,34м	$0,363(ДТ^2/R)+0,214ДТ+0,133МТ-5,619Пол$	3,06 кг	Segal et al., 1985	
17–62	1069м	$0,0013ДТ^2-0,044R+0,305МТ-0,168Возраст+22,668$	3,61 кг	Segal et al., 1988	
17–62	498ж	$0,0011ДТ^2-0,021R+0,232МТ-0,068Возраст+14,595$	2,43 кг	Segal et al., 1988	

Таблица 4.2: продолжение

Возраст (лет)	Кол-во, пол	Формула	Станд. ошибка	Ссылка
18–50	67ж,84м	$0,756(ДТ^2/R)+0,11МТ+0,107X_C$	2,06 кг	Lukaski et al., 1986
16–83	661	$0,34(ДТ^2/R)+15,34ДТ+0,273МТ+4,56Пол-0,127Возраст-12,44$	2,63 кг	Deurenberg et al., 1991
22–94	141ж,202м	$0,518(ДТ^2/R)+0,231МТ+0,130X_C+4,229Пол-4,104$	1,72 кг	Kyle et al., 2001
65–83	37ж,35м	$0,36(ДТ^2/R)+0,359МТ+4,5Пол-0,20ОГ+7,0$	2,50 кг	Deurenberg et al., 1990
65–94	63ж,35м	$0,28(ДТ^2/R)+0,27МТ+4,5Пол+0,31ОГ-1,732$	2,47 кг	Baumgartner et al., 1991
<i>Формулы для оценки МСМ, одночастотный метод (50 кГц)</i>				
18–86	158ж,230м	$МСМ=0,401(ДТ^2/R)+3,825Пол-0,071Возраст+5,102$	2,7 кг	Janssen et al., 2000
<i>Формулы для оценки ОВО и ВКЖ, двухчастотный метод</i>				
19–64	36м	$ОВО=0,455(ДТ^2/R_{100})+0,14МТ+3,43$ $ВКЖ=0,284(ДТ^2/R_5)+0,112МТ-6,115$	2,64 кг 1,94 кг	Segal et al., 1991
19–65	20ж,40м	$ОВО=0,297(ДТ^2/R_{224})+0,147МТ-3,637Пол+14,017$ $ВКЖ=0,099(ДТ^2/R_{224})+0,093МТ-1,396Пол-5,178$	3,58 кг 1,06 кг	Van Loan et al., 1992
19–52	27ж,33м	$ОВО=0,483(ДТ^2/Z_{100})+8,4$ $ВКЖ=0,229(ДТ^2/Z_1)+4,5$	2,27 кг 1,14 кг	Deurenberg et al., 1994

ОВО — общая вода организма; БМТ — безжировая масса тела; ВКЖ — внеклеточная жидкость; МСМ — масса скелетной мускулатуры; R — активное сопротивление (Ом); Z — полное сопротивление (Ом); X_C — реактивное сопротивление (Ом); ДТ — длина тела (см); ОП — окружность предплечья (см); ОГ — окружность голени (см); ПЛ, ПМ, СГ, СТ — толщина подлопаточной, подмышечной, подмышечной кожно-жировых складок, а также складок на голени и трицепсе соответственно (мм); МТ — масса тела (кг); Возраст (лет). Величина Пол принимает значения 0 (ж) или 1 (м). Нижние индексы при R и Z в формулах для ОВО и ВКЖ обозначают частоту тока, при которой измерялись соответствующие показатели.

и увеличением доли разрушенных клеток в организме. Наоборот, повышенные значения ёмкостного сопротивления отражают более высокое функциональное состояние клеточных мембран и, следовательно, самих клеток. На основании этого полагают, что чем больше величина φ , тем лучше состояние организма. Повышенные значения X_C отражают более высокое содержание активной клеточной массы и трактуются в спортивной медицине как свидетельство тренированности (Lukaski et al., 1990). У мужчин и женщин общей популяции установлена значимая обратная корреляция величины фазового угла, измеренного для ног, туловища и всего тела, с процентным содержанием жира в массе тела (%ЖМТ), и, кроме того, у мужчин — высокая корреляция с величиной процентного содержания безжировой массы (%БМТ), определяемой методом гидростатической денситометрии (Baumgartner et al., 1988).

Отметим следующие результаты изучения величины фазового угла для различных популяций:

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

2) величина φ снижена у пациентов с почечной недостаточностью ($\varphi < 5^\circ$), что объясняется увеличением объёма внеклеточной и 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) при незначительных изменениях 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 прогностически значимым маркером скорости развития ВИЧ-инфекции и времени дожития при СПИДе (Schwenk et al., 2000);

5) у ВИЧ-инфицированных больных туберкулёзом величина φ и клеточная масса тела статистически значимо снижены по сравнению с больными туберкулёзом без ВИЧ-инфекции (Shah et al., 2001). Мониторинг состава тела способствует улучшению надёжности оценки состояния и эффективности лечения таких больных.

Оборудование для биоимпедансного анализа. Биоимпедансные анализаторы производятся во многих странах мира. По нашей

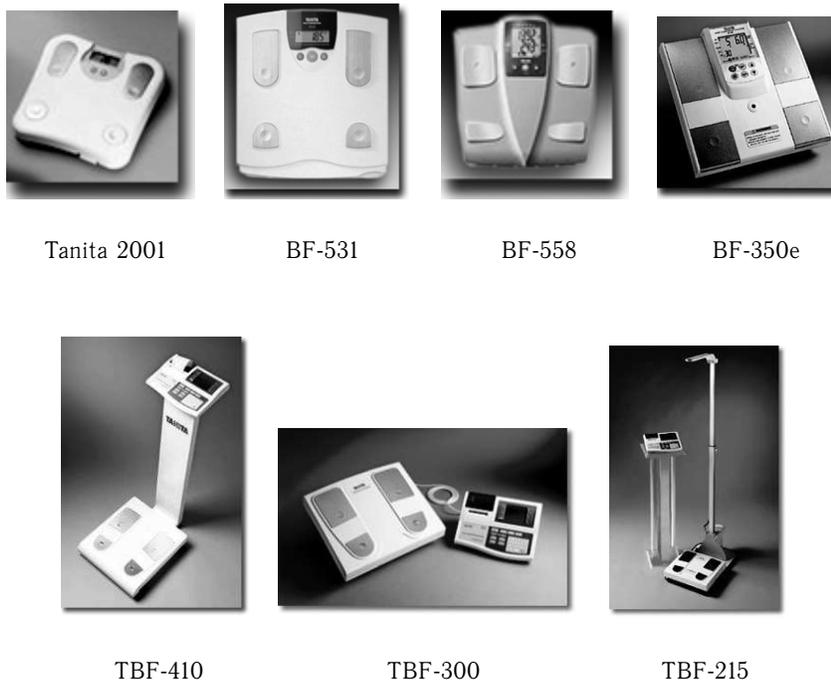


Рис. 4.6. Биоимпедансные анализаторы фирмы Tanita (Япония)

оценке, в настоящее время используется не менее 100 тысяч таких приборов, большинство из которых — недорогие одночастотные анализаторы, применяемые в спортивно-оздоровительной медицине для контроля жировой и скелетно-мышечной массы тела. Более дорогостоящие двухчастотные и многочастотные биоимпедансные анализаторы применяются в основном в клинической медицине и научных исследованиях. Устройства отличаются по используемой частоте (или набору частот) переменного тока, по измеряемым показателям (активное, реактивное и полное сопротивление, фазовый угол), рекомендуемым схемам наложения электродов и встроенным формулам для определения состава тела. В настоящее время наблюдается тенденция к выработке единых стандартов выпускаемого оборудования, программного обеспечения и процедуры измерений.

Первые формулы для оценки %ЖМТ, встроенные в программное обеспечение биоимпедансных анализаторов, были получены на



Рис. 4.7. Биоимпедансные анализаторы: *а* — HBF-300, *б* — HBF-306 (Omron, Япония)

основе регрессионного анализа с использованием данных гидростатической денситометрии. Они показали относительно высокое соответствие оценок состава тела у людей с нормальным уровнем питания, но в случае избыточной или недостаточной массы тела приводили к заниженной или, соответственно, завышенной оценке. Среднеквадратическое отклонение результатов определения %ЖМТ методом биоимпедансометрии от результатов подводного взвешивания для общей популяции в ранних публикациях оценивалось на уровне 5–6,4% (Segal et al., 1985; Jackson et al., 1988). В настоящее время встроенные формулы позволяют учитывать половые, возрастные и этнические особенности, а также размеры тела и уровень физического развития индивидов. Применение формул для конкретных популяций с использованием данных антропометрии позволило снизить величину стандартной ошибки %ЖМТ до 2,5–3%.

Некоторые модели биоимпедансных анализаторов выполнены в виде напольных весов, измеряющих характеристики импеданса ног и паховой области (рис. 4.6). Основной производитель такого оборудования — японская фирма Tanita. Профессиональные модели анализаторов подключаются к ПК и дают возможность оценки ЖМТ, скелетно-мышечной массы, ОВО, рекомендуемого диапазона жировой массы и других показателей. Другие модели можно использовать для индивидуального самоконтроля в домашних условиях. Фирмы Omron (Япония) и American Weights and Measures (США) выпускают ручные биоимпедансные жиронали-

заторы, снимающие информацию с плечевого пояса (рис. 4.7). Применение таких устройств существенно ограничивает возможности биоимпедансного анализа. Использование характеристик электрического сопротивления небольших участков тела может приводить к существенной погрешности оценки интегральных показателей состава тела. Ошибка определения %ЖМТ с использованием ручного анализатора HBF-306 (Omron) в сравнении с четырёхкомпонентной моделью составляет 4,5% (Deurenberg, Deurenberg-Yap, 2002). Согласно (Lohman, 1992), качество такой оценки следует считать удовлетворительным (см. табл. 1.2.3. на стр. 31).

Наилучшую точность оценки состава тела методом биоимпедансометрии обеспечивают устройства для измерения импеданса всего тела по стандартной схеме — с наложением электродов на голень и запястье. Оборудование, позволяющее проводить исследования по всем существующим на сегодняшний день методикам биоимпедансного измерения, а также соответствующее программное обеспечение, в России выпускается научно-техническим центром “Медасс” (г. Москва).



Рис. 4.8. Биоимпедансный анализатор ABC-01 Медасс (НТЦ “Медасс”, Россия)

На рис. 4.8 показан биоимпедансный анализатор водных секторов организма ABC-01. Прибор ориентирован на применение в диетологии, спортивной медицине, реаниматологии, интенсивной терапии, нефрологии, эндокринологии и в других областях медицины. Принцип его работы основан на использовании зависимости баланса электрического сопротивления тканей на низкой и высокой частоте (20 и 500 кГц) от объёмов клеточной и внеклеточной жидкости. Для расширенных исследований используется набор из 6 частот переменного тока от 5 до 500 кГц. Электродная

система анализатора может состоять из 4, 8, 10 или 12 электродов, соответственно, для интегрального (классического), 5-сегментного (туловище, руки, ноги), 7-сегментного (голова, торакальная и абдоминальная области, бёдра, голени) и 9-сегментного (торс, плечи, бёдра, предплечья, голени) обследования. Обработка и представление результатов измерений осуществляются ПЭВМ с визуализаци-



Рис. 4.9. Разновидности анализатора ABC-01 “Медасс” (Россия):
а — универсальный вариант, *б* — портативный вариант

ей показателей 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 всех коммутаций и графического воспроизведения результатов может составлять от 1,2 до 4,5 с. Анализ параметров производится в абсолютных (л, кг) и относительных величинах (проценты от должных величин, а также проценты от массы тела и безжировой массы). Программное обеспечение позволяет сопоставлять импедансную и калиперометрическую оценку тощей массы, определяемую по четырём кожно-жировым складкам. На экран выдаются методические материалы, помогающие правильно интерпретировать результаты обследования. Конструкция анализатора защищена патентами 1991, 1996, 1997 и 2003 г.

На рис. 4.9 показаны разновидности анализатора ABC-01 “Медасс”, применяемые в спортивной медицине, научных исследованиях и клинической практике. Портативный анализатор “Спрут-К” (рис. 4.9б), разработанный НТЦ “Медасс” совместно с Институтом медико-биологических проблем, используется в медико-биологических исследованиях на Международной космической станции и для мониторинга изменений состава тела в условиях невесомости (рис. 4.10) (Носков и др., 2005).

Варианты схем измерения. На рис. 4.11 представлены схемы измерений, используемые в известных методиках биоимпедансного анализа. Для каждой схемы штриховкой показана область тела, по которой распространяется зондирующий ток и которая, следовательно, вносит свой вклад в измеряемое значение импеданса. Во всех схемах измерения импеданса выполняются по тетраполярной методике, в соответствии с которой одна пара электродов служит



Рис. 4.10. Биоимпедансный анализатор “Спрут-К” в момент обследования космонавта на Международной космической станции

для пропускания зондирующего тока, а другая пара — для регистрации напряжения (разности потенциалов).

На рис. 4.11а приводится схема Томассета. На рис. 4.11б показана схема измерения от запястья до щиколотки по одной стороне тела, широко используемая для оценки состава тела в диетологии и фитнесе. На рис. 4.11в показана схема измерения “по Тищенко”: руки и ноги соединяются внешними проводниками. Эти три схемы интегральные, так как с их помощью оцениваются параметры всего тела без деления на сегменты. Следующие две схемы региональные: рис. 4.11г — схема фирмы “Омрон” и рис. 4.11д — схема фирмы “Танита”. Они позволяют оценивать параметры верхней и нижней частей тела, соответственно. Остальные схемы — полисегментные, реализуемые, наряду с вышеперечисленными схемами, только прибором АВС-01 “Медасс” (рис. 4.11е-з).

Одночастотный метод биоимпедансного анализа. Среди эксплуатируемых в настоящее время биоимпедансных анализаторов одночастотные составляют свыше 90%. Данный метод анализа состава тела стал наиболее популярным благодаря использованию в диетологии, фитнесе, косметологии и спортивной медицине. Возможности применения одночастотного метода обогатились в результате установления высокой корреляции параметров биоимпе-

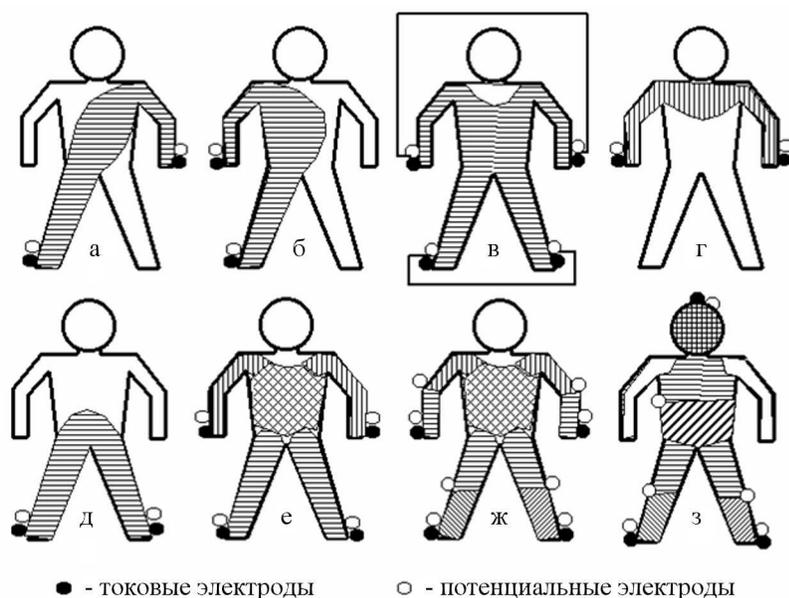


Рис. 4.11. Схемы измерений, используемые в известных методиках биоимпедансного анализа (см. объяснение в тексте)

данного анализа с показателями основного обмена и активной клеточной массы, полученными на основе применения более трудоёмких и дорогостоящих эталонных методов.

Реализация одночастотного интегрального метода биоимпедансометрии включает следующие этапы.

1. На основе измеренного значения активного сопротивления определяются объём общей воды организма и тощая масса тела. Жировая масса вычисляется как разность значений массы тела и тощей массы.

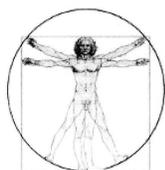
2. По измеренному значению реактивного сопротивления рассчитываются активная клеточная масса и основной обмен.

На рис. 4.12–4.13 показаны стандартные протоколы исследований одночастотным методом биоимпедансного анализа в программе АВС-037 “Медасс”. На рис. 4.12 показан протокол первичного обследования, в котором отражены входные данные (пол, возраст, длина и масса тела, обхваты талии и бёдер), а также представлены численно и графически результаты оценки различных показателей

состава тела: основного обмена, жировой и тощей массы тела, абсолютного и относительного содержания активной клеточной массы, общей жидкости организма и процентного содержания жировой массы. Приводятся границы нормальных значений перечисленных показателей, устанавливаемых в зависимости от пола, возраста и длины тела. Протокол повторных обследований (рис. 4.13) включает диаграмму изменений, а также таблицы абсолютных значений и относительных изменений основных показателей состава тела для первого и шести последних обследований. Графический протокол динамики изменений состава тела строится по результатам не менее чем четырёх обследований и включает показатели массы тела, а также жировой и активной клеточной массы (рис. 4.14).

Региональная и локальная биоимпедансометрия. Возможности биоимпедансометрии не исчерпываются оценкой интегральных показателей, относящихся ко всему организму. В диагностике многих заболеваний значительный интерес представляют параметры состава тканей отдельных регионов (конечностей, туловища, грудных желез) и локальных участков тканей, непосредственно прилегающих к коже и слизистым оболочкам. В работах С. Оллмара и И. Никандер 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, установлены биоэлектрические характеристики тканей при базальном клеточном раке и контактном дерматите. Метод биоимпедансной спектроскопии с успехом применялся для оценки состояния тканей пародонта (Московец, Николаев, 2005), а также для оценки выраженности повреждений эпителия мочевого пузыря (Keshtkar et al., 2001). Интересно, что полученные характеристики импеданса тканей эпителия при карциноме значительно отличались от данных, соответствующих воспалению.

На основе сопоставления результатов биоимпедансного анализа и магнитно-резонансной томографии было показано, что биоимпедансометрию можно использовать для определения объёма мышц в отдельных сегментах конечностей, а также для изучения взаимосвязей между размерами мышц и их силовыми характеристиками (Miyatani et al., 2001). В указанной работе коэффициент корреляции между индексом импеданса L^2/Z (где L — длина исследуемого участка конечности, а Z — его импеданс) и объёмом мышц для разных конечностей составил от 0,90 до 0,97. Биоимпедансный



FITNESS

АО НТЦ "МЕДАСС"



Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

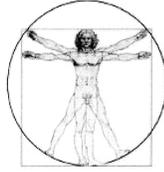
Протокол, пациент: Донскова Светлана

Базовые данные		554 Ом / 55 Ом	
Дата	15.01.2002 16:58:59	Индекс массы тела	35.3 кг/м ²
Возраст	51 год	Окружность талии	101 см
Рост	164 см	Окружность бедер	116 см
Вес	95.0 кг	Основной обмен	1444 ккал
Состав тела			
Индекс массы тела			35.3
Жировая масса (кг)			44.6
Тошная масса (кг)			50.4
Активная клеточная масса			26.2
Доля активной клеточной массы (%)			52.1
Общая жидкость (кг)			36.9
Соотношение талия / бедра			0.87
Классификация по проценту жировой массы			47.0

Рис. 4.12. Оценка состава тела на основе биоимпедансного анализа.
Протокол первичного обследования

анализ даёт более точную оценку площади поперечного сечения и объёма мышц конечностей по сравнению с антропометрией (Fuller et al., 1999).

Региональные биоимпедансные исследования осуществляются как непосредственным измерением импеданса интересующего участка тела между парой потенциальных электродов при располо-



FITNESS

АО НТЦ "МЕДАСС"



Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Протокол № 16, пациент: Донскова 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	
Исходное время	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								
	15.01.2002	26.03.2002	01.04.2002	09.04.2002	23.04.2002	04.06.2002	18.07.2002	Норма
Вес (кг)	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)	101.0	91.0	91.0	93.0	93.0	94.0	93.0	
Окружность бедер (см)	116.0	117.0	111.0	112.0	108.0	110.0	112.0	
Индекс талии/бедра	0.87	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
Актив. клет. 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)		-10.0	-10.0	-8.0	-8.0	-7.0	-8.0	
Окружность бедер (см)		1.0	-5.0	-4.0	-8.0	-6.0	-4.0	
Индекс талии/бедра		-0.09	-0.05	-0.04	-0.01	-0.02	-0.04	
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	
Актив. клет. 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	

Рис. 4.13. Оценка состава тела на основе биоимпедансного анализа. Протокол повторных обследований

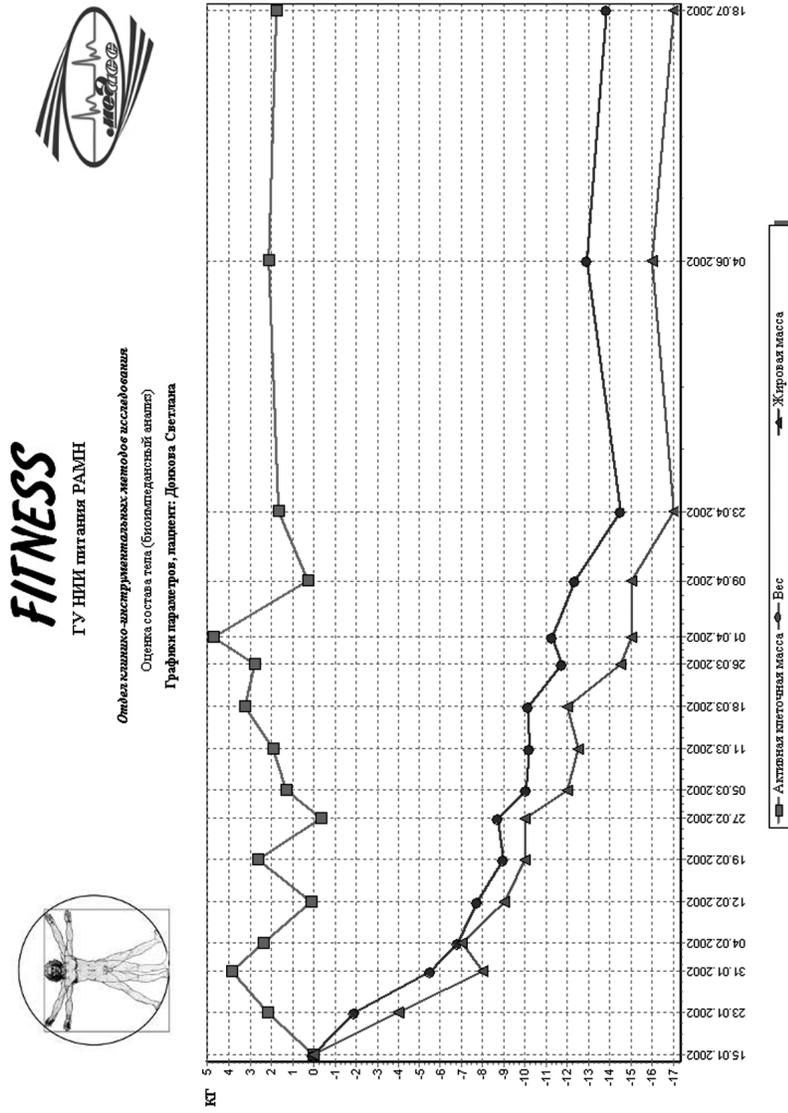


Рис. 4.14. Оценка состава тела на основе биоимпедансного анализа. Графический протокол динамики изменений состава тела

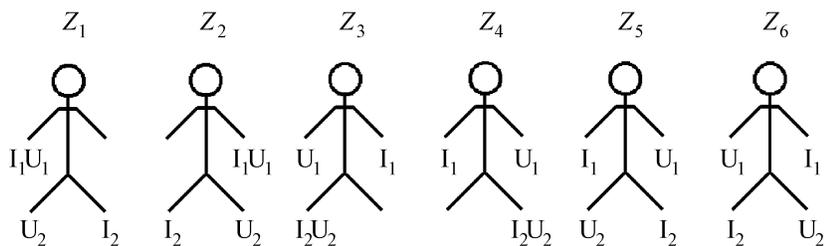


Рис. 4.15. Схема $\chi\lambda$ -Медасс метода, позволяющая уменьшить количество потенциальных электродов на границах участков измерений.

U_1, U_2 — потенциальные электроды, I_1, I_2 — токовые электроды

жении токовых электродов с обеих сторон вне участка измерений, так и косвенно, когда система электродов размещается на голени, запястьях и голове. Зондирующий ток коммутируется между парами токовых электродов, а варианты коммутации потенциальных электродов могут не совпадать с вариантами коммутации токовых электродов. На рис. 4.15 показаны наиболее часто применяемые схемы коммутации, используемые для определения интегральных параметров организма и отдельного исследования пяти регионов — ног, рук и туловища.

Первые четыре схемы коммутации называют λ -образными, а остальные — χ -образными. При λ -образной схеме получаем сумму импедансов одной из конечностей и туловища, при χ -образной — туловища. В соответствии с этим вычисляются: $Z_{лр} = Z_1 - Z_T$; $Z_{пр} = Z_2 - Z_T$; $Z_{лн} = Z_3 - Z_T$; $Z_{пн} = Z_4 - Z_T$; $Z_T = (Z_5 + Z_6)/2$. Таким образом, с четырёх пар электродов снимается информация об импедансах и их составляющих на интересующих частотах в пяти регионах, а интегральный импеданс и его компоненты определяются по региональным показателям.

Измеряя импеданс парных участков тела, можно получить количественную оценку степени асимметрии. Осуществляя мониторинг процесса или проводя последовательные эпизодические измерения, можно изучать динамику отёков. О высокой чувствительности результатов измерений к отёчным явлениям свидетельствуют данные о том, что значение асимметрии импеданса рук при краш-синдроме достигает 70%, а молочных желёз при воспалительных заболеваниях — до 60%.

Локальная биоимпедансная спектроскопия позволяет оценить состав и функциональное состояние малых участков биологиче-

ских тканей (размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров по поверхности и в глубину). Этот метод неинвазивный, он не приводит к повреждению структуры тканей и является потенциальной альтернативой биохимического и морфологического анализа биоптатов.

Существуют варианты обследования с использованием зондов, проникающих вглубь тканей для анализа прилегающих к зонду участков. Ограничение метода связано с возможностью получения данных лишь с приповерхностных участков тела (исследование кожи и подкожной клетчатки, слизистых оболочек и трубчатых органов). Без сомнения, этот недостаток компенсируется повышенной комфортностью исследования для пациента, а также простотой и удобством процедуры для врача.

Области применения биоимпедансного анализа. Как в клинической медицине, так и в других прикладных областях возможности применения метода постоянно расширяются, неполный их список включает:

1. Анализ и динамический контроль жировой, безжировой и мышечной массы тела, общей воды организма, для оценки и прогноза развития метаболического синдрома, определения режима питания и оценки эффективности процедур коррекции фигуры, а также для мониторинга состояния спортсменов.

2. Анализ и динамический контроль водных секторов организма — клеточной, внеклеточной и интерстициальной жидкостей, объёма циркулирующей крови и “сухого веса” при гемодиализе, инфузионно-трансфузионной терапии, при хирургических вмешательствах, связанных с большой потерей крови, при острых токсических отравлениях и т. д.

3. Оценка состояния водного обмена перед применением диуретических препаратов и контроль результатов их применения (например, при лечении гипертонии).

4. Оценка межрегионального перераспределения внеклеточной жидкости при физиотерапевтических воздействиях и в ходе нагрузочных проб (ортостатических, дыхательных и других).

5. Мониторинг процессов восстановления при травмах, ранениях и лечении заболеваний, связанных с отёками конечностей (например, при краш-синдроме).

6. Анализ внутричерепной гидратации.

7. Маммологический скрининг на наличие отёков или новообразований.

8. Оценка жизнеспособности тканей при трансплантации.

9. Оценка состояния водного обмена при акклиматизации в горном и сухом жарком климате.

10. Контроль состояния кожи, слизистых и неглубоко залегающих тканей на наличие отёков, новообразований и поражений химическими реагентами.

Методические рекомендации [по материалам конференции Национального института здоровья США по биоимпедансометрии, 1996 г. (Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: NIH Technology Assessment Conference Statement, 1996), с дополнениями].

1. *Предварительный этап*: а) за неделю до обследования следует отказаться от приёма диуретиков; б) за двое суток — от употребления алкоголя, кофеина и других веществ, способствующих нарушению водного обмена; в) за 3–4 ч — воздержаться от физических нагрузок, а также от приёма воды и пищи; г) за 30 мин до обследования очистить мочевой пузырь.

2. Перед началом измерений обследуемому рекомендуется провести лёжа 7–10 мин на горизонтальной поверхности.

3. Во время измерений необходимо надёжно изолировать обследуемого от окружающих электропроводящих предметов. 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 необходимо наложить точно в соответствии с инструкцией. Обычно применяется стандартная четырёхполярная схема наложения электродов — по два на правом голенистоопе и на запястье. Положение электродов имеет критическое значение, смещение их на 1 см вдоль направления зондирующего тока приводит к 2%-ной ошибке измерения импеданса. На точность измерений влияют такие биологические факторы, как воспалительные заболевания. Величина импеданса зависит от температуры тела. Например, для мышечной ткани температурный коэффициент импеданса составляет около $2\%C^{-1}$ (Шван, Фостер, 1980; Уэбб, 1991).

5. Во время измерений обследуемый сохраняет неподвижное положение, руки и ноги разведены в стороны под углом 30–45° к оси тела.

6. *Противопоказания*. Больным с кардиостимуляторами данное обследование не рекомендуется.

Безопасность метода. В ходе многолетнего применения биоимпедансометрии нежелательных последствий для организма человека не отмечалось. При частоте тока 10–100 кГц преобладающим механизмом электрочувствительности биологических тканей является их нагрев. По имеющимся данным, болевой порог воздействия электрического тока на организм при частоте 50 кГц составляет около 40 мА (Geddes, Baker, 1975). Это на 1,5–2 порядка больше силы тока, обычно используемой в биоимпедансных анализаторах [цит. по (Liedtke, 1997)]. Согласно принятому в большинстве стран стандарту электробезопасности, зондирующий ток не должен превышать 2 мА.

Надёжность метода. При условии соблюдения методических рекомендаций биоимпедансный анализ даёт надёжную оценку состава тела. Величина среднеквадратического отклонения результатов повторного определения %ЖМТ методом биоимпедансометрии, выполненного у одного и того же пациента одним и тем же оператором, не должна превышать 0,5%, что свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов. Из табл. 4.2 следует, что у пациентов с выраженным истощением или ожирением биоимпедансометрия даёт более высокую методическую погрешность при той же случайной погрешности, однако современное программное обеспечение, используемое для длительного динамического контроля состава тела, компенсирует методическую погрешность за счёт дополнительных антропометрических данных.

Заключение. Биоимпедансный анализ состава тела основан на существенных различиях удельной электропроводности жировой ткани и тощей массы тела, которые оказались примерно в 25 раз больше соответствующих различий плотности. Приемлемая точность и высокая воспроизводимость результатов измерений, портативность оборудования, сравнительно невысокая стоимость оборудования и обследования, комфортность процедуры измерений для пациента и удобство автоматической обработки данных сделали биоимпедансометрию одним из наиболее популярных методов определения состава тела. Преимущество метода заключается в возможности одновременной оценки таких клинически значимых параметров, как активная клеточная масса и основной обмен, а также изучение не только интегральных, но и локальных параметров состава тела вплоть до разрешения, характерного для компьютерной томографии. К недостаткам метода относится отсутствие единой стандартизации оборудования и способов измерений, что затрудняет сопоставление и анализ получаемых результатов.

4.2.2. Метод общей электрической проводимости

Альтернативная возможность изучения состава тела на основе биоэлектрических методов заключается в применении бесконтактного метода общей электрической проводимости (ОЭП) с использованием внешнего электромагнитного поля. Принципиальная часть устройства метода представляет собой соленоид, внутри которого в ходе измерений находится обследуемый (рис. 4.16). При пропускании через соленоид переменного электрического тока образуется электромагнитное поле. Изменение напряжённости поля в ходе обследования по сравнению с контролем характеризует проводимость тела человека. Это позволяет оценить состав тела. Прототипом приборов на основе метода ОЭП для оценки состава тела человека явилось предложенное в 1973 г. устройство ЕММЕ SA-1 (от англ. *electronic meat measurement equipment* и *small animal*) для прижизненной оценки количества жира и безжировой массы у свиней (патент США № 3735247) (Boileau, 1988).



Рис. 4.16. Метод общей электрической проводимости. Момент измерений

Коммерческие версии устройств метода ОЭП для определения состава тела выпускались с 1985 по 1988 г. компанией *Dickey-John Medical Instrument Corporation*, а с 1988 по 1994 год — компанией *EM-SCAN* (США). Устройство HP-2 (*EM-SCAN*) (от англ. *human pediatric*) предназначено для изучения состава тела у детей с массой тела от 1,5 до 18 кг и длиной тела до 1,1 м. Это так называемое *устройство стационарного типа*: во время обследования пациент находится в неподвижном положении относительно прибора.

Для обследования взрослых людей был сконструирован прибор *сканирующего типа* HA-2 (от англ. *human adult*), дающий возможность оценки состава тела у индивидов с массой тела от 14 до 180 кг (рис. 4.16). В ходе измерений специальная скамья с находящимся на ней субъектом движется по направляющим внутри устройства вдоль сегмента однородного электромагнитного поля. Более ранняя конструкция данного прибора, имеющая название

НА-1 — это устройство стационарного типа. Для создания в нём участка однородного электромагнитного поля с характерным размером длины тела взрослого человека потребовалось, чтобы длина прибора составляла не менее 7,2 м (при длине соленоида 3,6 м). Описанное выше устройство НР-2 представляет собой уменьшенную копию прибора НА-1, имеет в длину более 3,5 м и весит около 500 кг. Значительные размеры устройства НА-1 послужили основным мотивом для разработки устройства сканирующего типа. Однако предложенное устройство НА-2 всё ещё имело около 6 м в длину и весило порядка 900 кг. Стандартные процедуры обследования с использованием устройств стационарного и сканирующего типа предусматривают измерения на частотах 5 МГц и 2,5 МГц, соответственно. Для изучения состава тела у животных небольшого размера фирмой *EM-SCAN* был разработан недорогой анализатор SA-2.

Методические рекомендации. Надёжные результаты оценки состава тела методом общей электрической проводимости достигаются при предварительном 6-часовом воздержании от приёма пищи. Перед процедурой измерений проводится настройка показаний прибора. Затем обследуемый снимает обувь, одежду с металлическими предметами (пуговицами, застёжками, ювелирными украшениями и т. д.) и ложится на спину на специальную скамью устройства. При обследовании детей с использованием прибора НР-2, скамья на несколько секунд автоматически вдвигается по направляющим внутрь соленоида. Измерение повторяют не менее трёх раз. Для сохранения постоянной геометрии тела при обследовании младенцев следует использовать пространственные ограничители. В случае обследования взрослых людей с использованием устройства НА-2 измерения повторяют не менее шести раз. Процесс сканирования занимает около 30 с. Результаты измерений зависят от температуры и влажности воздуха в помещении. Одежда обследуемого должна быть сухой, относительная влажность воздуха в помещении не должна превышать 60%. Содержание жидкости в организме пациента должно соответствовать норме. Допустимые пределы колебаний температуры воздуха в помещении составляют 8°C. Изменение температуры тела самого обследуемого не является препятствием для точных измерений, так как существуют надёжные способы коррекции результатов с учётом этого фактора.

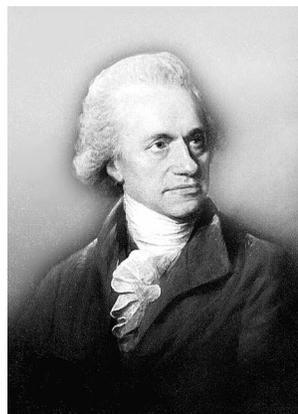
Оценка состава тела. При использовании метода общей электрической проводимости получают количественные оценки содер-

жания общей воды в организме и безжировой массы тела. Соответствующие регрессионные формулы, наряду с характеристиками электрической проводимости тела, часто содержат и антропометрические показатели, такие как длина, масса тела и возраст пациента. Подробную характеристику физических принципов и основных предположений, лежащих в основе метода ОЭП, а также формулы, используемые для оценки состава тела, можно найти в работах (Van Loan, Mayclin, 1987; Van Loan, 1990; Van Loan, Koehler, 1990; Baumgartner, 1996). Воспроизводимость измерений достаточно высокая, погрешность двух последовательных оценок состава тела, выполненных с использованием устройств сканирующего типа, не превышает 0,5–1% (Baumgartner, 1996). Точность метода ОЭП в сравнении с эталонными методами разведения оксидов дейтерия, трития и H_2^{18}O несколько выше, чем при биоимпедансном анализе. Это связано с тем, что результаты измерений почти не зависят от взаимной ориентации тканей и распределения жидкости в организме между клеточным и внеклеточным секторами. Низкая чувствительность результатов измерений на одной частоте тока к перераспределению жидкости в организме ограничивает область применения одночастотного метода ОЭП исследованиями здоровых людей. Проводилось предварительное изучение возможности оценки объёмов клеточной и внеклеточной жидкости методом ОЭП путём одновременных измерений характеристик проводимости тела на нескольких частотах. К другим недостаткам метода относится громоздкость и высокая стоимость оборудования. Получаемые оценки состава тела относятся к двухкомпонентной модели. По совокупности указанных факторов, данный метод не нашёл широкого применения для изучения состава тела человека, производство измерительного оборудования было остановлено в 1994 г. Вместе с тем, метод ОЭП продолжает использоваться при исследовании состава тела животных (Speakman, 2001; Johnson, Nagy, 2005).

В России метод ОЭП для оценки состава тела не применялся. В 1999 и 2000 гг. Омским НИИ приборостроения совместно с кафедрой неврологии и нейрохирургии МГМСУ и НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского были разработаны и запатентованы методика и устройства для бесконтактной импедансометрии, которые используются для диагностики и мониторинга отёков головного мозга (Чернышёв и др., 1999; Левченко, Рябоконь, 2000; Левченко, Стулин, 2005; Стулин и др., 2005).

4.3. Метод инфракрасного отражения

Инфракрасное излучение было открыто В. Гершелем⁸ в 1800 г. Инфракрасным называют электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 0,75 мкм до 1 мм — между видимым спектром и радиодиапазоном (табл. 4.3). В инфракрасном спектре выделяют ближнюю (0,75–1,5 мкм), среднюю (1,5–20 мкм) и дальнюю (20–1000 мкм) области. Инфракрасный диапазон особенно интересен тем, что к нему относятся молекулярные спектры излучения многих веществ, а также основная доля теплового излучения. Изложению физических основ, а также общих принципов проектирования и анализа инфракрасных систем посвящено большое количество работ (Джемисон и др., 1965; Хадсон, 1972; Джонс, 1991).



В. Гершель

Таблица 4.3. Спектры электромагнитных излучений

Вид излучения	Длина волны, м
Гамма-излучение	$<10^{-12}$
Рентгеновское излучение	$10^{-12}-10^{-10}$
Ультрафиолетовое излучение	$10^{-10}-4 \times 10^{-7}$
Видимое излучение	$4 \times 10^{-7}-7,5 \times 10^{-7}$
Инфракрасное излучение	$7,5 \times 10^{-7}-10^{-3}$
Радиоволны	$>10^{-3}$

Основные области применения инфракрасной техники в настоящее время связаны с военным делом, промышленностью и научными исследованиями. В медицине инфракрасную технику первоначально использовали для дистантной диагностики патологических состояний организма, связанных с изменениями локальной приповерхностной температуры тела (распознавание некоторых видов опухолей, воспалительных процессов, контроль заживления ран

⁸Вильям (Вильгельм) Гёршель (W. Herschel, 1738–1822) — немецкий и английский учёный, основоположник звёздной астрономии. Построил первую модель Галактики. Открыл планету Уран.



Рис. 4.17.
Инфракрасный
жироанализатор
Futrex-5000



Рис. 4.18.
Инфракрасный
жироанализатор
Futrex-5000XL. Момент
измерений

и др.). Начало применения инфракрасных лучей для определения состава тела относят к первой половине 1980-х годов, когда в ходе исследований, проводимых Министерством сельского хозяйства США, была установлена высокая корреляция результатов определения процентного содержания жира в организме, полученных по спектральным данным бицепсов доминантной руки при её облучении инфракрасным светом в ближнем диапазоне, с результатами гидростатической денситометрии (Conway et al., 1984).

Все органические вещества различаются по спектральным характеристикам поглощения электромагнитного излучения. Например, максимальная интенсивность поглощения инфракрасного света липидным слоем наблюдается при длине волны 930 нм, а слоем воды — при длине волны 970 нм [(Conway et al., 1984); см. также (Heyward, Stolarczyk, 1996)]. Указанные различия интенсивности поглощения используются для определения состава тела методом инфракрасного отражения.

Основным производителем инфракрасной техники для определения состава тела человека является компания *Futrex* (США), выпустившая свыше 40 тысяч таких приборов, которые имеют широкое распространение в большинстве промышленно-развитых стран. Наиболее часто встречаются устройства семейства Futrex-5000 (рис. 4.17). Прибор представляет собой источник инфракрасного излучения в ближнем диапазоне на двух длинах волн (940 и 950 нм), снабжённый световодом, принимающим детектором и микропроцессорным устройством для обработки и визуализации данных с возможностью оценки процентного содержания жира и воды в организме, а также безжировой массы.

Процедура измерений. Перед началом обследования проводится настройка показаний прибора с использованием тефлонового калибровочного блока. Измерение проводят в срединной точке доминантного бицепса с использованием светозащитного экрана, в отверстие которого перпендикулярно к измеряемой поверхности тела вставляется световод (рис.4.18). В момент измерений световод прижимают к руке обследуемого с усилием, примерно равным крепкому рукопожатию. Измеряется величина оптической плотности, которая характеризует отношение количества излучения, выходящего из световода и возвращающегося в него. По умолчанию для каждой частоты измерение оптической плотности автоматически повторяется два раза (возможные значения от 1 до 8) и используется усреднённая оценка. Значения оптической плотности вместе с предварительно введёнными показателями длины и массы тела, а также пола и балльной оценки уровня физической подготовки, используются для автоматического вычисления процентного содержания жира и безжировой массы.

Регрессионная формула для вычисления %ЖМТ, встроенная в программное обеспечение устройства Futrex-5000, имеет следующий вид (Futrex, 1988):

$$\%ЖМТ = C_0 + C_1(ОП_2\text{бицепса}) + C_2(\text{Пол}) + C_3(\text{МТ}) + C_4(\text{ДТ}) + C_5(ОП_1\text{бицепса}) + C_6(\text{Уровень физической подготовки}), \quad (4.4)$$

где ОП₁ и ОП₂ — оптическая плотность при 1-й и 2-й частоте, соответственно, а величины C_i представляют собой постоянные параметры, специфичные для конкретного устройства. Регрессионная формула анализатора Futrex-1100, показанного на рис. 4.19, содержит лишь величины оптической плотности, а также значения длины и массы тела. Устройство Futrex-6100 (рис. 4.20) предна-



Рис. 4.19.
Инфракрасный
жироанализатор
Futrex-1100



Рис. 4.20.
Инфракрасный
жироанализатор
Futrex-6100

значено для измерения оптической плотности на 6 длинах волн, а регрессионная формула для вычисления %ЖМТ дополнительно содержит переменную возраста, что, в принципе, позволяет повысить точность оценки состава тела.

Точность, надёжность и воспроизводимость метода. Большинство результатов применения метода инфракрасного отражения для определения состава тела получено с использованием прибора Futrex-5000. Воспроизводимость результатов измерений, выполненных в течение дня несколькими операторами, а также в течение нескольких дней одним оператором, оказалась выше по сравнению с калиперометрией и биоимпедансометрией: стандартная ошибка результатов повторных измерений составила около 2,4% (Heyward, Stolarczyk, 1996). Кроме того, показано, что среднеквадратическое отклонение результатов определения %ЖМТ методом инфракрасного отражения с использованием встроенных формул для вычисления состава тела от результатов гидростатической денситометрии составляет от 3,7 до 6,3%, что по субъективной шкале соответствует интервалу от довольно хорошего до плохого качества оценки (см. табл. 1.2.3. на стр. 31). Для прибора Futrex-1000 эта величина оказалась равной 4,5%, что соответствует удовлетворительному качеству оценки [цит. по (Heyward, Stolarczyk, 1996)]. Установлено, что метод даёт систематически заниженную оценку %ЖМТ (на 2–10%), причём величина отклонения растёт с увеличением %ЖМТ. Поэтому применение встроенных формул не рекомендуется для индивидуальной оценки %ЖМТ в клинических условиях (Davis et al., 1989; Israel et al., 1990). Вместо этого были предложены новые формулы для определения %ЖМТ с учётом возраста, этнической принадлежности и других факторов, а также формулы для определения плотности тела. Получаемые оценки можно использовать для подстановки в формулы двухкомпонентной модели, специфичные для соответствующих популяций (Roche et al., 1996). Изучение вопроса о влиянии выбора участка измерений на точность оценки %ЖМТ показало, что, в отличие от калиперометрии, выполнение измерений в одном (вне бицепса) или нескольких участках тела (например, обычно используемых при калиперометрии) не приводит к улучшению точности метода (Conway, Norris, 1986; Elia et al., 1990).

Метод инфракрасного отражения применялся в клинических исследованиях. Получены предварительные результаты, свидетельствующие о надёжности оценок процентного содержания жира в организме для характеристики пищевого статуса у больных с по-

ческой недостаточностью в период гемодиализа (Kalantar-Zadeh et al., 1999). Преимуществом метода являются неинвазивность, простота применения и оперативность.

В целом, вопрос о применимости метода инфракрасного отражения для различных популяций и в различных условиях изучен недостаточно и требует дальнейших исследований с использованием многокомпонентной модели состава тела. В России данный метод исследования состава тела *in vivo* применяется в основном в фитнес-центрах для ориентировочной оценки жировой и безжировой массы.

4.4. Определение естественной радиоактивности всего тела

Главным источником естественной радиоактивности тела человека является изотоп калия ^{40}K . Относительное содержание данного изотопа как в организме человека, так и в окружающей среде весьма стабильно, и составляет около 0,012% массы калия. Это даёт возможность использовать результаты измерений естественной радиоактивности всего тела для оценки общего содержания калия в организме. В связи с тем, что свыше 98% калия в теле человека имеет внутриклеточную локализацию, данный показатель применяется для оценки активной клеточной массы и имеет высокую корреляцию с основным обменом (Бондаренко, Каплан, 1987). Оценка общего калия представляет интерес для исследования болезней, связанных с нарушением баланса жидкостей в организме и эндокринными сдвигами, поскольку в этом случае методы изотопного разведения оказываются неэффективными.

Время обследования пациента составляет от 15 до 30 мин, а погрешность измерений — от 1 до 5% в зависимости от возраста обследуемого и технических характеристик устройства. Как правило, определение естественной радиоактивности всего тела является частью методики нейтронного активационного анализа.

4.5. Нейтронный активационный анализ

Нейтронный активационный анализ является разновидностью активационного анализа, наиболее распространённого среди применяемых в медицине ядерно-физических методов исследования.

Активационный анализ был впервые предложен Д. Хевеши и Г. Леви в 1936 г (Hevesy, Levi, 1936). Сущность метода заключается в изучении состава вещества на основе активации его атомных ядер при помощи внешнего излучения. Если в качестве внешнего излучения используется поток нейтронов, то такая разновидность метода имеет название нейтронного активационного анализа.

Нейтронный активационный анализ стал первым методом, который обеспечивает надёжную оценку содержания до 40 химических элементов в живом организме, включая микроэлементы (Chettle, Fremlin, 1984; Cohn, Parr, 1985; Sutcliffe, 1996). Как показал анализ моделей состава тела, наиболее устойчивые соотношения между различными компонентами состава тела имеют место на элементном уровне (Wang et al., 1995), поэтому основанные на нейтронном активационном анализе многокомпонентные модели элементного уровня часто используются в качестве эталона для оценки эффективности или калибровки альтернативных методов.

Существует два типа активации атомных ядер под действием потока нейтронов. Ядра одних элементов, таких как кальций, фосфор, натрий и хлор, активируясь, становятся источниками гамма-излучения в течение довольно длительного промежутка времени. Это явление имеет название *замедленной активации*. Ядра других элементов, таких как азот и водород, дают кратковременное гамма-излучение (*немедленная активация*). Как и в случае метода определения естественной радиоактивности всего тела, характеристики гамма-излучения оцениваются при помощи счётчиков измерения радиоактивности всего тела.

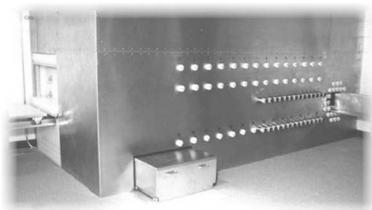


Рис. 4.21. Нейтронный облучатель исследовательского центра по проблемам детского питания (CNRS), Хьюстон, США

окончании 2 мин. процедуры облучения. Затем пациент вновь проходит обследование на счётчике измерения радиоактивности всего тела, в ходе которого определяют спектральные характери-

Методика измерений. а) *Замедленный активационный анализ.* Перед облучением потоком нейтронов обследуемый проходит процедуру измерения естественной радиоактивности всего тела, занимающей около 15 мин. После этого пациент принимает положение лёжа на спине на специальной скамье, которая автоматически вдвигается внутрь активационной камеры (рис. 4.21) и выдвигается из неё по

ки индуцированного гамма-излучения. Интенсивность излучения быстро снижается, поэтому измерение радиоактивности всего тела начинают не позднее чем через 1 мин после облучения. Для этого пациент должен достаточно быстро перейти на скамью для измерений после облучения потоком нейтронов. Общая длительность процедуры не превышает 35 мин.

б) *Немедленный активационный анализ* (на примере определения общего содержания азота). Перед началом сканирования определяют антропометрические показатели обследуемого: толщину и ширину рук и ног, а также обхват талии и грудной клетки. Измерение проводится для трёх разных сечений тела (ноги, талия, грудная клетка) — каждое длительностью около 10 мин. В случае необходимости между отдельными измерениями можно сделать перерыв.

Метод имеет следующие *недостатки*:

1) воздействие на организм умеренной дозы радиации, в связи с чем для некоторых групп пациентов (дети, а также женщины детородного возраста) применять его не рекомендуется;

2) количество нейтронных облучателей тела человека *in vivo* резко ограничено (в мире имеется не более 20 таких устройств). Практической альтернативой является использование инвариантных соотношений между содержанием в организме интересующих химических элементов и оцениваемых компонент состава тела.

Установление инвариантных соотношений между различными компонентами состава тела является важным направлением науки о составе тела. Одно из таких соотношений — это уровень гидратации безжировой массы тела, т. е. величина ОВО/БМТ, которая, как известно, примерно равна 0,73. Основной составляющей ОВО является кислород (88,9% массы ОВО), а жировой массы тела (ЖМТ) — углерод, который составляет 75,9% ЖМТ. Это обстоятельство послужило поводом исследования методом нейтронного активационного анализа соотношения общего содержания кислорода в организме (ОСК) к массе тела без углерода (МТБУ) (Wang et al., 1998). Для описания соотношения ОСК/МТБУ была предложена теоретическая модель, а соответствующая формула имела вид

$$\text{ОСК/МТБУ} = (0,728 - 0,609 \times \% \text{ЖМТ})(0,895 - 0,654 \times \% \text{ЖМТ}). \quad (4.5)$$

В рассматриваемую группу были включены здоровые мужчины ($n = 22$) с различным содержанием жира в организме (от 6,9

до 38,6%). Значение ЖМТ определяли методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (см. п. 4.6.2), а точность измерений составила 3%. Средние значения величины ОСК/МТБУ, полученные на основе нейтронно-активационного анализа, хорошо соответствовали вычисленным по формуле (4.5) ($0,800 \pm 0,009$ и $0,793 \pm 0,010$, соответственно). Формула (4.5) показывает, что основной фактор, влияющий на отношение ОСК/МТБУ — это процентное содержание жира в организме (%ЖМТ). Действительно, отношение ОСК/МТБУ значимо коррелировало с величиной %ЖМТ, вариация которой характеризовала 58% изменчивость рассматриваемого показателя. Таким образом, построенная теоретическая модель и результаты нейтронного активационного анализа подтвердили предположение об относительном постоянстве величины ОСК/МТБУ для популяции здоровых взрослых мужчин. Отмечалась необходимость дальнейших исследований для выяснения значимости полученного результата в отношении других групп индивидов.

Определение элементного состава тела на основе нейтронного активационного анализа применялось для оценки пищевого статуса у пациентов с хронической почечной недостаточностью в период длительного гемодиализа (Cohn et al., 1983). Общее содержание азота определяли на основе немедленного активационного анализа; содержание воды в организме оценивали методом разведения трития; общее содержание калия определяли путём измерения естественной радиоактивности всего тела. Массу внеклеточной жидкости оценивали по содержанию хлора в плазме крови и во всём организме. Содержание жира и белка, а также клеточная масса тела оказались в пределах нормальных значений для соответствующих показателей пола, возраста и длины тела. Единственное статистически значимое отличие состояло в увеличении отношения массы внеклеточной жидкости к клеточной массе тела. Из этого следует, что у пациентов с почечной недостаточностью процедура гемодиализа способствует минимизации остаточных проявлений интоксикации и устранению истощения. Оценка общего содержания азота и калия в организме у таких больных обеспечивает надёжную и точную оценку их пищевого статуса.

В работе (Cohn et al., 1984) для определения ЖМТ сопоставлялись две модели состава тела. На основе нейтронного активационного анализа определяли общее содержание азота, кальция и хлора. Измерение содержания хлора использовалось для оценки объёма внеклеточной жидкости, а кальция — для оценки ММК

и массы внеклеточных твёрдых веществ. Содержание калия определяли при помощи счётчика измерения радиоактивности всего тела и использовали для оценки клеточной массы тела. Общее содержание воды оценивали на основе метода разведения трития. В первой модели ЖМТ оценивали как разность между массой тела и суммарным содержанием азота (белка), внеклеточной воды и ММК, а во второй модели — на основе клеточной массы тела, массы внеклеточной жидкости и внеклеточных твёрдых веществ. Результаты оказались сопоставимы. Был сделан вывод, что первую модель предпочтительнее применять для пациентов с метаболическими нарушениями, так как у них наблюдается более высокая изменчивость содержания в организме калия (клеточной массы тела) по сравнению с содержанием азота (белка). Высокая корреляция полученных результатов показала возможность использования рассмотренных моделей состава тела для определения ЖМТ.

4.6. Методы на основе рентгеновского и радиоизотопного излучений

В 1895 году немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген открыл новый вид электромагнитного излучения, названный им X-лучами. Это открытие, отмеченное первой Нобелевской премией по физике (1901 г.), сыграло важнейшую роль в развитии современных представлений о строении и свойствах вещества. Вскоре после открытия X-лучи были переименованы в рентгеновские лучи. Свойства рентгеновского излучения были подробно изучены, а соответствующие методы получили широкое распространение в физике, химии, биологии и медицине. К ним относятся рентгеноструктурный анализ, рентгеновская микроскопия, рентгенография, рентгеноденситометрия, рентгенотерапия и другие методы.



В. Рентген (1845–1923)

Аналогичную роль в науке сыграло открытие радиоактивности французским физиком Антуаном Анри Беккерелем в 1896 г. Последующие этапы развития атомной и ядерной физики включали создание в 1910 г. первого масс-спектрографа (Ф. Астон),



А. Беккерель (1852–1908)

появление в 1911 г. ядерной модели строения атома (Э. Резерфорд), развитие представлений о квантовых энергетических уровнях атомов (Н. Бор). В 1919 г. была доказана возможность осуществления ядерных реакций (Резерфорд), в середине 1930-х годов были синтезированы первые искусственные радиоактивные изотопы (И. и Ф. Кюри), а в 1942 г. построен первый ядерный реактор (Э. Ферми). В результате, научные и прикладные исследования с использованием рентгеновских и радиоизотопных методов были поставлены на прочную промышленную основу.

Ранее при описании методов разведения индикаторов для изучения баланса жидких сред организма мы уже давали характеристику некоторых искусственно синтезируемых изотопов, используемых для этих целей. В последующих параграфах будут рассмотрены методы изучения состава тела, основанные на регистрации изменения параметров рентгеновского и радиоизотопного излучений при их прохождении через биологические ткани. Сначала мы остановимся на *радиоизотопных* методах, к которым относятся простая фотонная и двухфотонная абсорбциометрия, а затем рассмотрим методы исследования состава тела с использованием *рентгеновского излучения*: моноэнергетическую и двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию, а также рентгеновскую компьютерную томографию.

4.6.1. Простая фотонная и двухфотонная абсорбциометрия

Метод простой фотонной абсорбциометрии (ПФА) был впервые использован в 1963 г. для измерения минеральной плотности костной ткани (МПКТ) в периферических участках скелета (Cameron, Sorenson, 1963). Измерение проводят в участках тела с небольшой толщиной мягких тканей — как правило, на лучевой кости нерабочей руки на границе между дистальной и средней третью или на участке локтевой кости на 3 см проксимальнее шиловидного отростка.

На рис. 4.22 показана одна из первых моделей простого фотонного денситометра с возможностью автоматизированной обра-

ботки данных, разработанная в университете Висконсин (США) и установленная в начале 1970-х годов в общеклинической больнице штата Массачусетс (г. Бостон).

На рис. 4.23 приведена схема аналогичного устройства Nogland, предложенного Дж. Кэмероном. Узкий пучок фотонов низкой энергии⁹ направляется от источника излучения (^{125}I) через измеряемый участок тела к детектору.¹⁰ Рука пациента на 10–15 мин фиксируется на столе для измерений в тканеэквивалентной среде для компенсации различий состава мягких тканей. Костная ткань характеризуется количеством минеральных веществ в граммах на единицу длины (г/см) или площади (г/см²). Ввиду специфики выбора участка измерения данные простой фотонной абсорбциометрии характеризуют в основном количественные изменения, происходящие в кортикальной кости (здесь и далее цит. по: (Рожинская, 2000)). Точность измерений МПКТ при использовании последних моделей монофотонных остеоденситометров составляет 1–2%. Лучевая нагрузка при однократном исследовании не превышает 15 мР. Метод применялся в популяционных исследованиях для мониторинга МПКТ у пациентов, относящихся к группам риска, а также для выявления ранних ста-



Рис. 4.22. Одна из первых моделей монофотонного остеоденситометра (общеклиническая больница штата Массачусетс, г. Бостон, США, начало 1970-х)

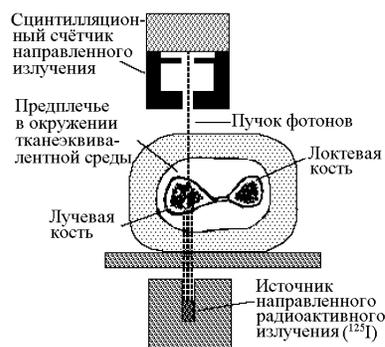


Рис. 4.23. Принципиальная схема монофотонного остеоденситометра Дж. Кэмерона

⁹Низкая энергия фотонов обеспечивает максимальный контраст между костной и мягкими тканями.

¹⁰Иногда в качестве источника излучения используется радиоактивный изотоп ²⁴¹Ам.

дий остеопений с преимущественными кортикальными потерями. В целом, ПФА — это надёжный, сравнительно доступный и точный метод определения МПКТ в периферических участках скелета.

В области бедра и в участках осевого скелета точное измерение МПКТ методом простой фотонной абсорбциометрии невозможно ввиду трудности определения относительного содержания мягких тканей в соответствующих участках тела. Преодолеть это ограничение позволил метод двухфотонной абсорбциометрии (ДФА) с использованием радиоактивного изотопа ^{153}Gd с дискретным энергетическим спектром (44 и 100 кэВ). Метод ДФА получил развитие в 1970-х годах и вошёл в клиническую практику в 1980 г. Определение интенсивности поглощения фотонов для двух энергий излучения позволяет оценить абсолютное содержание костных и мягких тканей в исследуемом участке тела. Преимущество такого подхода заключается в возможности измерения минеральной плотности костной ткани и минеральной массы костей в любом участке скелета, в том числе позвоночнике и проксимальных отделах бедра. Точность измерений составляет 3–6% для позвоночника и 3–4% для шейки бедра. Как правило, лучевая нагрузка в ходе одного обследования не превышает 5 мР. Неудобство метода ДФА заключается в большей длительности по сравнению с ПФА процедуры измерений, которая составляет 20–40 мин. Общий недостаток рассмотренных методов состоит в необходимости периодической замены источника радиоактивного излучения.

4.6.2. Моноэнергетическая и двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия



Рис. 4.24. Рентгеновский остеоденситометр Hologic QDR-1000

Главное отличие метода моноэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (МРА) от простой фотонной абсорбциометрии заключается в использовании рентгеновской трубки вместо радиоактивного источника излучения. Это обеспечивает более высокую точность измерения МПКТ. Метод МРА обладает всеми достоинствами метода ПФА и позволяет количественно

определять содержание минеральных веществ в периферических участках скелета. Основным недостатком метода МРА по сравнению с ДФА связан с невозможностью измерения МПКТ в участках осевого скелета.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА)¹¹ — наиболее распространённый рентгенологический метод изучения состава тела. Разработанная в конце 1980-х годов ДРА первоначально применялась в клинической медицине для диагностики остеопении и остеопороза (Kelly et al., 1988; Braillon et al., 1989). В настоящее время, помимо оценки минеральной плотности и минеральной массы костей, ДРА используется для определения жировой и безжировой массы тела. Его можно также применять и в сочетании с другими методами.

По способу регистрации излучения ДРА аналогичен двухфотонной абсорбциометрии (Riggs, Melton, 1992). Благодаря использованию двух энергий излучения метод ДРА даёт возможность исследовать как периферические, так и осевые участки скелета (поясничный отдел позвоночника, проксимальные отделы бедра). Встроенное программное обеспечение автоматически корректирует результаты измерений с учётом плотности мягких тканей. Данный метод мало инвазивен (суммарная доза облучения не превышает 0,02–0,03 мЗв), относительно доступен и не требует активного участия пациентов (Mazess et al., 1990; Pietrobelli et al., 1996). По сравнению с ДФА, результаты измерений методом ДРА более точны, а длительность измерений значительно меньше (табл. 4.4) при сравнительно низкой дозе облучения. Поэтому метод ДРА



Рис. 4.25. Рентгеновский остеоденситометр Norland XR-36



Рис. 4.26. Рентгеновский остеоденситометр LEXXOS (DMS, Франция)

¹¹От англ. dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). Преподобное название — количественная цифровая рентгенография (от англ. quantitative digital radiography (QDR). Отсюда происходит аббревиатура, используемая в названии рентгеновских денситометров фирмы *Hologic*.

рассматривается в качестве “золотого стандарта” остеоденситометрии.

На рис. 4.24–4.26 показано стационарное оборудование метода ДРА с возможностью изучения всего тела. Лидерами в производстве таких устройств являются компании *Hologic*, *Lunar* и *Norland* (США). Например, ежегодный объём продаж компании *Lunar* составляет около 20 млн. долл., а с момента её появления в 1980 г. было реализовано свыше 12000 рентгеновских и ультразвуковых остеоденситометров. В России более широко распространено оборудование компаний *Lunar* и *Hologic*. В настоящее время оборудование для рентгеновской костной денситометрии производится во многих странах мира. Перспективны разработки французской фирмы *DMS* (рис. 4.26) и шведской компании *Demetech* (рис. 4.29). В 2000 году на выставке “Радиология–2000”, проходившей в рамках I Российской научной конференции “Лучевая диагностика и лучевая терапия на пороге третьего тысячелетия”, был представлен первый отечественный рентгеновский денситометр “Денсикон-МТ”, разработанный ЗАО “Медицинские технологии” совместно с ООО “Медрентех”. Прибор не требует применения водной ванны и позволяет проводить исследование минеральной плотности костной ткани (МПКТ) не только в амбулаторных условиях, но и на дому. Устройство весит 29 кг, длительность сканирования составляет 15 с, доза облучения не превышает 15 мкЗв (Чикирдин, 2001). К сожалению, данная разработка не была запущена в серийное производство.



Рис. 4.27.
Рентгеновский
денситометр “Денис”
(ИЯИ РАН, Москва)

На рис. 4.27 показан изготовленный в 2003 г. опытный образец отечественного рентгеновского исследовательского денситометра “Денис” (ИЯИ РАН, Москва), предназначенного для оценки минеральной плотности костной ткани вокруг имплантантов, в частности, эндопротезов суставов в предоперационном и послеоперационном периодах с одновременным получением изображения исследуемого участка скелета. Данное устройство можно использовать для диагностики остеопороза. По основным характеристикам оно не уступает западным аналогам. Время экспозиции составляет 10 с, доза облучения не превосходит 1 мР (для

Таблица 4.4. Сравнительная характеристика рентгеновских и радиоизотопных методов определения состава тела человека

Метод	Точность, v	Воспроизвод., v	Время сканирования, мин
ПФА	2–8	2–5	5–15
ДФА	3–10	2–6	20–45
МРА	5	1	10–20
ДРА	3–6	1–3	3–10

тазобедренного сустава), а ошибка измерения МПКТ не превышает 3%. Клинические испытания денситометра проведены в Центральном институте травматологии и ортопедии имени Н. Н. Приорова (ЦИТО МЗ РФ). Основные комплектующие и программное обеспечение производятся в России, а сборка и наладка прибора осуществляются на отечественном оборудовании, что существенно снижает стоимость изделия по сравнению с зарубежными аналогами и позволяет надеяться на высокую экономическую эффективность его использования.

О возможностях остеоденситометров судят по нескольким характеристикам, основные из которых — точность и воспроизводимость результатов измерений. Под *точностью* обычно понимается среднеквадратическое отклонение результатов оценки МПКТ *in situ* от данных химического анализа. Точность результатов денситометрии считается низкой, если относительная величина среднеквадратического отклонения не превышает 5%. Относительная величина разброса результатов повторных измерений обычно не превышает 1–2%. *Воспроизводимость* характеризует разброс результатов повторных измерений, выполненных в течение короткого промежутка времени. Сравнительные характеристики точности и воспроизводимости метода, а также длительности измерений приведены в табл. 4.4.

Физические основы метода. Особенности взаимодействия рентгеновского излучения с костной, жировой и другими тканями организма обусловлены различиями их физико-химических свойств (Pietrobelli et al., 1996). Если с одной стороны изучаемого объекта поместить источник рентгеновского излучения, то интенсивность выходящего потока определяется толщиной, плотностью и химическим составом объекта. Функция интенсивности зависит от энергии излучения. В случае низких энергий она определяется фотоэлектрическим эффектом и эффектом Комптона и имеет вид

$$I = I_0 \exp(-\mu T), \quad (4.6)$$

где I_0 — начальная интенсивность, T — толщина объекта, а μ — линейный коэффициент ослабления. Если толщина объекта известна, то указанное соотношение приводится к виду

$$M = (1/\mu_m) \ln(I_0/I), \quad (4.7)$$

где M — масса объекта, а μ_m — массовый коэффициент ослабления, определяемый по формуле $\mu_m = \mu/\rho$, где ρ — плотность объекта. Если объект состоит из двух или более химических элементов, то коэффициент μ_m задаётся в виде линейной свёртки массовых коэффициентов ослабления для отдельных элементов μ_{m_i} :

$$\mu_m = \sum_i c_i \mu_{m_i}, \quad (4.8)$$

где c_i — массовые концентрации (доля i -го элемента в общей массе вещества), а сумма берётся по всем элементам, из которых состоит данное вещество.

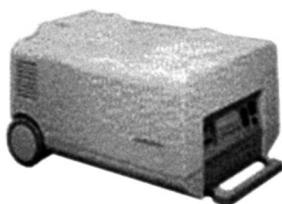


Рис. 4.28.
Рентгеновский
остеоденситометр Apollo
(Norland, США)

Надёжность метода. В работе (Madsen et al., 1997) изучалась воспроизводимость результатов измерений общего и периферического состава тела у 38 лиц женского пола в возрасте от 21 до 81 года на основе метода ДРА с использованием устройства Norland XR-26. Коэффициенты вариации результатов оценки минерального состава костей, МПКТ, а также безжировой и жировой массы тела оказались в пределах 2%, а в случае измерений, выполненных в периферических участках скелета — в пределах 5%. Эти данные соответствовали полученным ранее с использованием денситометра Lunar (Mazess et al., 1990). Отсюда был сделан вывод о возможности использования устройства для групповых исследований, а также о необходимости осторожной интерпретации результатов оценки регионального состава тела на индивидуальном уровне.

Точность метода. Для оценки точности метода ДРА в зависимости от пола, этнической принадлежности и уровня физического развития сопоставлялись результаты обследования 172 здоровых молодых людей в возрасте около 20 лет (Prior et al., 1997) с четырёхкомпонентной моделью состава тела (формула (1.18) на

стр. 30). Результаты оценки %ЖМТ высоко коррелировали между собой ($r = 0,94$); стандартная ошибка составила 2,8%ЖМТ, статистически значимые различия отсутствовали. По сравнению с четырёхкомпонентной моделью состава тела, оценка %ЖМТ методом ДРА оказалась точнее, чем в случае ГД. При этом величина стандартного отклонения слабо зависела от ИМТ ($r = -0,34$) и процентного содержания воды в БМТ ($r = -0,51$), и не зависела от этнической принадлежности и уровня физического развития.

В работе (Pintauro et al., 1996) было установлено существенное различие оценок ЖМТ у животных методом ДРА от результатов химического анализа состава тела и предложена следующая регрессионная формула (*корректирующий фактор Пинтауро*) для оценки ЖМТ:

$$\text{ЖМТ} = 0,78 \times \text{ЖМТ}_{\text{ДРА}} + 0,16 \times (\text{Масса тела, кг}) + 0,34 \text{ кг},$$

где ЖМТ_{ДРА} — величина жировой массы, оцененная методом ДРА. Построенная на основе прямых данных по составу тела, эта формула улучшила точность оценки ЖМТ. Применение её к оценкам состава тела у детей методом ДРА в работе (Fields, Goran, 2000) привело к нивелировке различий между результатами ДРА и четырёхкомпонентной модели. Отсюда был сделан вывод о применимости метода ДРА для определения ЖМТ у детей (при учёте фактора Пинтауро).

Проблема взаимной калибровки.

Сопоставление результатов оценки состава тела методом ДРА с использованием устройств, выпускаемых разными фирмами-производителями, показало, что устройство Hologic QDR по сравнению с Lunar DPX-L занижает оценку ЖМТ в среднем на 20%, минерального состава костей — на 20–25%, а устройство Norland на 5% завышает эту оценку (Spector et al., 1995). Поэтому, согласованию стандартизации результатов измерений и взаимной калибровке таких устройств должно уделяться достаточно внимания (Kalender, Fischer, 1993; Dequeker et al., 1995).

В работах (Roemmich et al., 1997; Fields, Goran, 2000) оценки ЖМТ методом ДРА с использованием различных устройств



Рис. 4.29. Денситометр DXL Calscan (*Demetech*, Швеция)

(Hologic DXA, Lunar DPX-L) сопоставлялись с четырёхкомпонентной моделью состава тела. В случае Hologic DXA, величина %ЖМТ у детей 9–15 лет была выше оценок, полученных на основе четырёхкомпонентной модели независимо от пола и возраста (Roemmich et al., 1997). Возможной причиной этого было неверное предположение о статусе гидратации безжировой массы тела у детей (использовалось значение, равное 73,2%). Применение устройства Lunar DPX-L показало статистически значимые различия оценок ЖМТ от результатов четырёхкомпонентной модели; при низких значениях ИМТ наблюдалась получаемая оценка была занижена, а при высоких значениях — завышена (Fields, Goran, 2000).

Сопоставление с другими методами. Сравнение результатов применения ДРА с нейтронным активационным анализом и гидростатической денситометрией показало возможность достаточно точной оценки ЖМТ и БМТ. На этом основании метод ДРА иногда используется в качестве эталона для проверки прогнозирующих формул на основе ИМТ, а также калиперометрии и биоимпедансометрии (Roubenoff et al., 1993; Salvatoni et al., 1998).

Клиническое применение метода у детей связано в основном с мониторингом изменений состава тела при хронических заболеваниях, таких как астма, диабет и хроническая почечная недостаточность (Salvatoni et al., 1998). Определение состава тела на основе ДРА у детей больных астмой в динамике длительного лечения ингаляционными стероидами не выявило изменений МПКТ и состава мягких тканей (Agertoft, Pedersen, 1998). У детей больных диабетом состояние костных и мышечных тканей, по данным ДРА, соответствовало норме при изменённом содержании в организме воды и калия (Rosenfalck et al., 1995, Salvatoni et al., 1998).

К *преимуществам* метода ДРА относят: 1) оперативность метода, доступность результатов измерений сразу после завершения сканирования; 2) относительная безопасность метода, минимальный риск для здоровья; 3) в ходе обследования не требуется активного участия пациента; 4) возможность одновременной оценки нескольких компонент состава тела, включая минеральный состав костной ткани, а также ЖМТ и БМТ всего тела или отдельных частей тела.

Среди *недостатков* метода отметим следующие: 1) относительно высокая цена обследования; 2) преимущественное использование метода в стационарных условиях; 3) относительно низкая пропускная способность; 4) отсутствие сопоставления результатов

измерений с анатомическими данными по составу тела человека; 5) необходимость дальнейшего изучения точности измерений для новых устройств, использующих веерный пучок излучения, и их применения для мониторинга изменений состава тела (Kelly et al., 1998).

ДРА и остеопороз. По данным ВОЗ, частота заболеваемости остеопорозом занимает четвертое место в мире среди неинфекционных заболеваний, уступая лишь сердечно-сосудистым, онкологическим заболеваниям и сахарному диабету (Kanis et al., 1994). Ранняя диагностика остеопороза является важным условием его успешного лечения. В случае постановки диагноза по факту перелома костей в тканях часто уже имеют место необратимые изменения. На сегодняшний день рентгеновская денситометрия костных тканей является основным методом диагностики остеопороза¹², что обусловлено высокой корреляцией между минеральной плотностью костной ткани и риском возникновения переломов (Black et al., 1992). Критерии диагностики остеопороза были разработаны ВОЗ на основе эпидемиологических данных, характеризующих зависимость риска переломов от плотности костных тканей, полученных в результате измерений в области поясничного позвонка и бедренной кости у женщин. Возможности применения этих данных в диагностических целях для других популяций не изучались. Сканирование позвоночного столба и бедра — это сравнительно дорогостоящая процедура, выполняемая в стационарных условиях. Поэтому в скрининговых исследованиях для выявления остеопороза у бессимптомных больных чаще применяются устройства для измерения периферического, а не осевого скелета (Raisz, 1999).

Характеристика плотности костных тканей у детей и подростков возможна на основе *Z*-критерия. Расчёт *Z*-критерия проводится на основе разности между измеренной плотностью костных тканей и среднепопуляционной нормой для того же пола и возраста. Остеопении соответствует плотность костной массы, лежащая в пределах от -1 до -2 стандартных отклонений от нормы. Снижение плотности костной массы на 2 и более стандартных отклонения интерпретируется как наличие остеопороза. В расчёте на каждое стандартное отклонение меньше нормы относительный риск переломов увеличивается примерно в 2 раза независимо от возраста.

¹²Для этого также используются мониторинг малых изменений высоты позвоночного столба, оценка тонкой структуры и механических свойств костей, а также определение скорости ремоделирования костной ткани (Raisz, 1999).

4.6.3. Рентгеновская компьютерная томография



Г. Хаунсфилд (1919–2004)

Основным недостатком традиционных рентгенологических методов исследования является проектирование трёхмерных структур на плоскость и, следовательно, наложение в получаемом изображении отпечатков одних органов на другие. Преодолеть этот недостаток позволило создание в 1972 г. рентгеновского компьютерного томографа, совершившее переворот в развитии методов медицинской диагностики. Авторы этого изобретения Годфри Хаунсфилд и Аллен Кормак были отмечены в 1979 г. Нобелевской премией по физиологии и медицине.



А. Кормак (1924–1998)

Слово «томография» (от греч. “томос” — слой и “графос” — пишу) означает послойное изучение структуры объектов. Под *компьютерной томографией* понимается произвольный неинвазивный метод исследования, позволяющий получать послойные изображения внутренней структуры объекта с использованием вычислительных возможностей ЭВМ. В случае использования компьютерной томографии в задачах медицинской диагностики ключевым требованием является сохранность всех биохимических реакций в изучаемом объекте (Уэбб, 1991; Кравчук, 2001).

Регистрируемый при помощи компьютерной томографии сигнал даёт информацию о структуре в виде изменения параметров некоторого физического поля или движущихся элементарных частиц при их взаимодействии с исследуемым объектом (Кравчук, 2001). В настоящее время к таким методам относятся рентгеновская компьютерная и магнитно-резонансная томография, а также радиоизотопные, ультразвуковые и биоэлектрические методы визуализации.

Для изучения состава тела применяются рентгеновская компьютерная (РКТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ).

Метод РКТ основан на использовании рентгеновских лучей, ориентированных в одной плоскости и преобразованных в веерный пучок, пропускаемый через различные участки тела. Выходящий поток регистрируется при помощи специальных детекторов. Ослабление интенсивности лучей определяется интегралом от функции коэффициента поглощения вдоль траектории луча, поэтому восстановление плотности сводится к нахождению функции коэффициента поглощения по множеству линейных интегралов от неё. Впервые такая задача была решена немецким математиком Радоном в 1917 г. [(Radon, 1917), см. также (Хелгасон, 1983)]. Впоследствии это решение было переоткрыто заново и предложены новые алгоритмы решения задачи компьютерной томографии. В работах отечественных учёных Б. И. Коренблюма, С. И. Тетельбаума и А. А. Тютина, опубликованных задолго до работ Хаунсфилда и Кормака, была доказана возможность решения задачи компьютерной томографии и предложена первая система реконструкции рентгеновских медицинских изображений (Коренблюм и др., 1956; Тетельбаум, 1958). Подробное описание математических задач компьютерной томографии и методов их решения имеется в монографиях (Тихонов и др., 1987; Уэбб, 1991; Кравчук, 2001).

В разработке сканеров (рентгеновских компьютерных томографов) различают пять этапов и, соответственно, насчитывают пять поколений аппаратуры [цит. по (Кравчук, 2001)]:

I поколение — просвечивание объекта пучками параллельных лучей, для перехода от одного пучка к другому производится поворот системы;

II поколение — просвечивание пучком расходящихся лучей (веером) в сочетании с плоско-параллельным перемещением веера и вращением;

III поколение — использование веера с широким углом раствора, который позволяет перекрыть всё сечение и избежать параллельного переноса, оставляя только вращение;

IV поколение — использование вращающегося веера со стационарным кольцом детекторов;

V поколение — сканирование лучом, управляемым электронной схемой; в таких томографах движущиеся элементы отсутствуют,

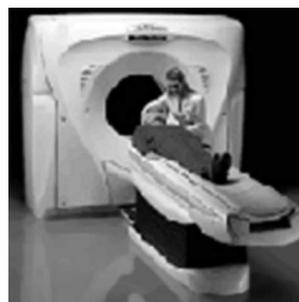


Рис. 4.30.
Рентгеновский компьютерный томограф IV поколения Mx8000 (Philips Medical Systems)

Таблица 4.5. Типичные значения рентгеновской плотности некоторых биологических тканей (Robb, 1982; Despres et al., 1996)

Биологическая ткань	Рентгеновская плотность, Н
Воздух	–1000
Лёгкие	от –900 до –750
Жировая ткань	от –190 до –30
Вода	0
Мягкие ткани	23–73
Почки	23–43
Сердце	27–36
Мозг	31–39
Мышцы	30–60
Кровь	35–65
Печень	46–73
Костная ткань	985–995

однако для формирования и управления лучом требуются вакуумные трубки больших размеров.

Большинство клиник на Западе и многие клиники в России оснащены сканерами IV поколения. Они выпускаются фирмами *Siemens, General Electric, Hewlett Packard, Philips* (рис. 4.30) и другими. Томографы V поколения распространены мало. В нашей стране выпускались рентгеновские томографы промышленного и медицинского назначения первых поколений [цит. по (Кравчук, 2001)]. В настоящее время усилиями трёх предприятий — Государственного АО “Мосрентген”, компании “Рентом” (Москва) и Института физики твёрдого тела РАН (Москва) — осуществляется реализация совместного проекта по созданию отечественного рентгеновского компьютерного томографа, не уступающего по возможностям западным аналогам (газета “Новые технологии”, № 12(184) от 19.03.2003 г.).

Таким образом, наибольшее распространение имеют рентгеновские томографы, в которых вращается источник излучения, а принимающие детекторы располагаются по всей окружности плоскости вращения. Иногда источник и детектор жёстко соединены друг с другом. Детекторы фиксируют интенсивность излучения при каждом угле поворота источника, что даёт информацию о структуре сканируемых участков тела. Для построения и анализа томографических изображений предложено большое количество алгоритмов (Despres et al., 1996; Neumsfield et al., 1995). Существу-

ет тенденция к использованию в спиральных томографах нескольких систем детекторов — так называемых мультidetекторных систем — с возможностью одновременного получения нескольких слоёв изображений (Блинов, 2002).

В табл. 4.5 показаны типичные значения рентгеновской плотности некоторых биологических тканей в единицах Хаунсфилда. Из таблицы видно, что рентгеновская плотность костной ткани резко отличается от плотности остальных тканей организма. Это позволяет использовать метод РКТ в целях диагностики остеопороза. Для этого РКТ выполняется как в области поясничного позвонка, так и в участках периферического скелета. Основное преимущество РКТ перед другими рентгенологическими и радиологическими методами диагностики остеопороза заключается в возможности исследования любого интересующего участка тела с отдельным анализом состояния кортикального и губчатого вещества костей (Grampp et al., 1997). Однако сравнительно высокая стоимость обследования и доза облучения ограничивают применимость РКТ позвоночника. Сканирование отдельных участков периферического скелета во многом лишено этих ограничений, однако обладает меньшей чувствительностью по сравнению с ДРА, выполненной в области позвоночника и бедра (Formica et al., 1998). Для диагностики остеопороза часто применяется радиографическая денситометрия руки, в принципе пригодная для скрининговых исследований. Однако корреляция результатов измерений с плотностью костей позвоночника и бедра, подверженных переломам значительно чаще, как правило, невысока.

Основное применение рентгеновской компьютерной томографии в медицине связано с диагностикой патологических состояний организма, а также с планированием лучевой терапии для лечения онкологических больных. Исследования, выполненные в начале и середине 1980-х годов, показали применимость метода РКТ для изучения состава тела. Получаемые результаты относятся к тканевому уровню многоуровневой пятикомпонентной модели состава тела. Методом РКТ можно оценить площадь поперечного сечения жировых, мышечных и костных тканей в любом участке тела. Информация о структуре поперечных сечений тела вдоль его длины даёт возможность оценить массу и объём органов и тканей организма. Исследования, проведённые на анатомическом материале, выявили высокий коэффициент корреляции (от 0,8 до 0,9) значений площади поперечного сечения жировой ткани, оцененной методами РКТ и прямой планиметрии. Аналогичный результат был

получен для величины жировой массы у лабораторных животных, оцениваемой на основе методов РКТ и химической экстракции. Величина разброса оценок общего объёма жировой ткани методом РКТ для последовательных измерений, выполненных у одного и того же индивида, составила около 0,6% (Despres et al., 1996). Оценка общего содержания жировых тканей методом РКТ путём послойного сканирования тела вдоль его длины хорошо коррелировала с оценками методом изотопного разведения, определения естественной радиоактивности всего тела и гидростатической денситометрии (Sjostrom, 1986; Kvist, 1988). Указанный результат был получен на основе изучения 22 поперечных сечений тела. Впоследствии оказалось, что общее содержание жира в организме можно надёжно оценить, если измерить площадь поперечного сечения жировой ткани в единственном участке тела — области живота между 4 и 5 позвонками. Коэффициент корреляции этих величин составил от 0,92 до 0,97, а стандартная ошибка среднего — 3,1 кг для мужчин и 3,5 кг для женщин (Despres et al., 1991).

Важное преимущество метода РКТ заключается в возможности изучения пространственной структуры тканей и органов, включая раздельную оценку содержания подкожного и внутреннего жира. Клинические исследования больных ожирением выявили высокую корреляцию между количеством внутреннего жира в организме и риском развития сердечно-сосудистых заболеваний и диабета, а оценка риска развития осложнений ожирения на основе оценки общего содержания жировой ткани оказалась менее надёжной.

Изучение взаимосвязей между площадью внутренней жировой ткани в поперечном сечении тела в области живота, оцененной на основе метода РКТ, и различными антропометрическими показателями отдельно для мужчин и женщин выявило высокую корреляцию с величиной окружности талии и отношением окружности талии к окружности бедра (Pouliot et al., 1984). Было показано, что около 75% дисперсии указанной величины объясняется вариацией показателей окружности талии и возраста. В связи с относительно высокой стоимостью обследования и необходимостью его проведения в стационарных условиях были предложены антропометрические формулы для оценки состава тела, основанные на данных РКТ (табл. 4.6).

Отличие результатов, получаемых методом РКТ, от результатов магнитно-резонансной томографии заключается в возможности оценки плотности ткани в каждой точке поперечного сечения.

Таблица 4.6. Регрессионные формулы на основе метода РКТ для вычисления общего содержания жировых тканей, а также количества внутреннего, подкожного жира и жировых тканей в брюшной полости, с использованием антропометрических и других показателей (Ellis, 2000)

	<i>n</i>	<i>R</i> ²	Ссылка
<i>Мужчины</i>			
$ЖМТ = 0,05234 \times ПЖТ + 2,8788$	89	0,92	Despres et al., 1996
$МЖТ_{БП} = 0,0845 \times ОТ \times ОБ + 5,12 \times \%ЖМТ - 13,715$	61	0,73	Koester et al., 1992
$ПСПЖТ = 3,136 \times ОТ + 3,633 \times \%ЖМТ - 237,539$		0,81	
$МЖТ_{БП} = 2,125 \times \text{Возраст} + 2,8343 \times ОТ - 225,39$	110	0,74	Despres et al., 1996
$МЖТ_{БП} = 1,05 \times \text{Возраст} + 3,03 \times ОТ + 4,68 \times ИМТ - 350$	66	0,76	Seidell et al., 1990
$ПСПЖТ = 0,69 \times \text{Возраст} + 3,88 \times ОТ + 8,83 \times ИМТ - 413$		0,74	
<i>Женщины</i>			
$ЖМТ = 0,0593 \times ПЖТ + 1,6589$	75	0,97	Despres et al., 1996
$МЖТ_{БП} = 1,4 \times \text{Возраст} - 1,6 \times \text{Вес} + 2,6 \times ОБ + 11,4 \times СД$	99	0,75	Armellini et al., 1997
$МЖТ_{БП} = 23,4 \times ВЖТ + 36,6 \times ЛТС + 508,2 \times ОТБ - 503$	25	0,91	Svendsen et al., 1993
<i>Дети</i>			
$МЖТ_{БП} = 0,23 \times ППЖТ + 13$	36	0,75	Pintauro et al., 1996

ВЖТ — внутренняя жировая ткань (кг); ЖМТ — жировая масса тела (кг); ИМТ — индекс массы тела; ЛТС — логарифм суммарной толщины кожно-жировых складок; МЖТ_{БП} — масса внутренней жировой ткани в брюшной полости (по данным ДРА); ОБ — окружность бедра; ОТ — окружность талии; ОТБ — отношение окружности талии к окружности бедра; ПЖТ — площадь сечения жировых тканей в области живота (см²); ППЖТ — площадь сечения подкожной жировой ткани (см²); СД — сагиттальный диаметр минус толщина подкожного жирового слоя; %ЖМТ — процентное содержание жира в массе тела.

Эту информацию вместе с данными о анатомической локализации можно использовать для определения вида ткани, к которой относится данная точка изображения. Оценка массы тела и его отдельных органов и тканей на основе РКТ достаточно надёжна и точна (Sjostrom, 1991).

Выводы. РКТ является эталонным методом определения состава тела на тканевом уровне. Метод даёт возможность раздельного мониторинга количества подкожного и внутреннего жира, а также массы скелетных мышц и внутренних органов. Преимущество метода заключается в его высокой разрешающей способности и точности. Недостаток связан с высокой стоимостью обследования, использованием радиоактивного источника излучения и необходимостью проведения обследования в стационарных условиях.

4.7. Магнитно-резонансная томография



Ф. Блох

В условиях слабого магнитного поля Земли большинство атомов и молекул в организме человека имеют случайную ориентацию. Однако если тело человека поместить в более сильное магнитное поле, то в результате изменения энергетического уровня ядра атомов некоторых элементов будут иметь тенденцию к ориентации вдоль магнитного поля (Despres et al., 1996). Это свойство наиболее выражено у атомов водорода — протонов (^1H). Атомы некоторых других элементов (^{13}C , ^{19}F , ^{23}Na , ^{31}P , ^{39}K) также обладают способностью к ориентации вдоль магнитного поля, но она выражена значительно слабее. Ориентации небольшой части атомов оказывается достаточно для количественной характеристики эффекта, получаемого в результате отмены действия или изменения направления магнитного поля. Описанное свойство лежит в основе метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР) — современного аналитического метода исследований, имеющего широкое применение в биологии и медицине. Имеются две основные разновидности метода ЯМР.

Магнитно-резонансная томография используется для построения объёмных анатомических изображений тела и анализа физико-химических свойств биологических тканей. *Магнитно-резонансная спектроскопия* позволяет получать информацию о химическом составе организма и, наряду с исследованиями метаболизма, может использоваться в задачах визуализации. Из этих двух методов для определения состава тела человека в настоящее время в основном используется магнитно-резонансная томография.

Явление ядерного магнитного резонанса было открыто в 1946 г. независимо двумя группами американских физиков, возглавляемыми Ф. Блохом и Б. Парселлом. За это открытие в 1952 г. им была присуждена Нобелевская премия по физике. Применение метода в биологии и медицине первоначально ограничивалось изучением свойств биологических объектов небольшого размера (клеток и образцов тканей). Исследования человека стали возможны с усовершенствованием технологии производства магнитов с большим расстоянием между полюсами. Одновременно с развитием ЯМР-спектроскопии стали развиваться методы визуализации распределения протонов в биологических тканях. В 1973 г. П. Лаутербур сконструировал первый магнитно-резонансный томограф, основанный на использовании явления сдвига резонансной частоты при наложении градиента магнитного поля. Дальнейшее развитие этой области привело к разработке большого количества методов визуализации и алгоритмов обработки данных.

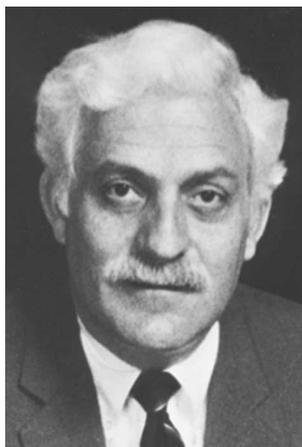
Первое изображение тела человека на основе магнитно-резонансной томографии получил Р. Дамадьян в 1977 г. В настоящее время промышленность выпускает большое количество устройств для магнитно-резонансной томографии (МРТ) и спектроскопии



Э. Парселл



П. Лаутербур



Р. Дамадьян

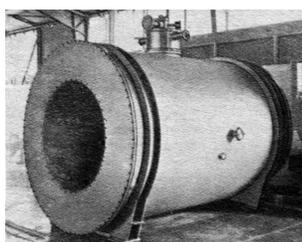


Рис. 4.31.

Сверхпроводящий магнит фирмы Siemens с индукцией 4 Тл, предназначенный для исследования всего тела (воспроизводится из (Лич, 1991))

всего тела. Оборудование для МРТ обычно состоит из магнита, системы формирования градиентов и катушек, высокочастотной системы, включающей передающую и приёмную катушки, компенсирующих катушек, управляющего процессора, дисплея и программного обеспечения, ориентированного на решение задач визуализации и спектроскопии (Лич, 1991). Основным компонентом ЯМР-системы является магнит (рис. 4.31). Чаще всего используются обычные (резистивные) или сверхпроводящие магниты. В некоторых устройствах применяются постоянные магниты и электромагниты. При малых значениях индукции (до 0,3 Тл) используются резистивные магниты, потребляющие много энергии и выделяющие значительное количество тепла. Как правило, для них необходима система охлаждения. Более сильные магнитные поля обычно получают при помощи сверхпроводящих магнитов. В целях визуализации используются значения магнитной индукции в интервале от 0,05 до 4 Тл. Для ЯМР-спектроскопии значение магнитной индукции должно составлять не менее 1,5 Тл.

Изложению физических принципов, методов визуализации и спектроскопии, алгоритмов обработки данных, а также характеристике оборудования и областей применения метода ЯМР в биологии и медицине посвящено большое количество работ (Лич, 1991; Воронов, 1996; Кравчук, 2001; Ахатов, 2003). Разработаны основные требования к размещению оборудования и безопасности применения метода для пациентов и обслуживающего персонала (см., напр., (Лич, 1991)). На этих вопросах мы останавливаться не будем. Отметим лишь, что в связи с использованием магнитного или электромагнитного поля метод противопоказан пациентам с кардиостимуляторами и имплантированными в тело металлическими предметами (например,

пластинками или операционными скрепками).

Существующие методы визуализации позволяют получать ЯМР-изображение поперечного сечения тела за время, не превышающее периода задержки дыхания, т.е. около 20 с. Это позволило избавиться от влияния на реконструируемое изображение двигательных артефактов. Особенность метода МРТ состоит в том, что процесс идентификации границ различных органов и тканей требует ручной коррекции (Despres et al., 1996), в то время как классификация различных органов и тканей организма методом РКТ осуществляется автоматически на основе заранее заданных пороговых значений рентгеновской плотности.

Некоторые результаты. На основе сопоставления результатов магнитно-резонансной томографии с методами химической экстракции и диссекции для определения ЖМТ и массы жировых тканей лабораторных и сельскохозяйственных животных было показано, что метод МРТ даёт высокую по точности оценку указанных величин ($r = 0,97-0,98$) (Ross et al., 1991; Fuller et al., 1990). Сопоставление методов МРТ и РКТ выявило высокие коэффициенты корреляции оценок содержания подкожной жировой ткани, однако оценки содержания внутреннего жира хорошо коррелируют лишь в области его высоких значений, а при низком содержании внутреннего жира коэффициент вариации может достигать 13–20% (Seidell et al., 1990).

В ряде работ изучалась воспроизводимость результатов оценки содержания в организме жировых тканей методом МРТ. Оказалось, что коэффициент вариации для повторных измерений содержания подкожного жира лежит в пределах от 1 до 10%, а внутреннего жира — от 5 до 10%. Коэффициент вариации оценок содержания жировых тканей конечностей составляет 1–4% (Ross et al., 1994). Это позволяет использовать магнитно-резонансную томографию, наряду с РКТ, в качестве эталона для определения массы скелетной мускулатуры [см. также (Mitsiopoulos et al., 1998)]. Преимущество метода МРТ перед КТ заключается в том, что он не связан с облучением пациента в ходе обследования.



Рис. 4.32.
Магнитно-резонансный томограф Magnetom Trio фирмы Siemens с индукцией 3 Тл для исследования всего тела

Глава 5

Послесловие

Современный период развития научных знаний об окружающем мире и человеке характеризуется увеличением роли новых технологий и методов исследования. Менее чем за 100 лет эволюция изучения состава тела позволила подойти к решению ряда биомедицинских задач, имеющих важное теоретическое и прикладное значение. В последние годы данная область исследований выделена в отдельное направление, получившее название *науки о составе тела* (Heunmsfield et al., 2005). Результаты исследований, связанных с изучением состава тела, публикуются в известных научных журналах и обсуждаются на международных форумах, посвящённых ожирению, клиническому питанию и спортивной медицине. Регулярно проводятся специализированные конференции по изучению состава тела (*International Symposium “In vivo body composition studies”*) и по биоимпедансному анализу (*International Conference on Electrical Bioimpedance*). В 2003 г. начал издаваться международный научный журнал, целиком посвящённый проблемам изучения состава тела человека — *International Journal of Human Body Composition Research*.

Обсуждая перспективные направления развития науки о составе тела человека, необходимо прежде всего ответить на вопрос: каким требованиям должны отвечать технические устройства и методы для того, чтобы они были широко востребованы специалистами и обществом? Очевидно, что при проведении популяционных исследований и в амбулаторной практике спортивной медицины и фитнеса предпочтение отдаётся сравнительно простым, портативным и недорогим методам. К таким методам относятся антропометрия, калиперометрия и биоимпедансный анализ.

В научных и клинических исследованиях первостепенное значение приобретает требование высокой разрешающей способности метода. В зависимости от интересующих показателей состава тела, к эталонным методам относят нейтронный активационный анализ и метод определения естественной радиоактивности всего тела (на элементном уровне), методы разведения, гидростатическую денситометрию, двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию, а также сочетание этих методов для использования в многокомпонентных моделях состава тела (на молекулярном и клеточном уровне). Революционное открытие второй половины XX в. было связано с разработкой и внедрением компьютерной и магнитно-резонансной томографии, позволяющих получать количественную оценку состава тела на тканевом уровне. Для эпидемиологических и демографических исследований большое значение имеет определение и сравнительный анализ территориальных и популяционных стандартов физического развития.

Результаты изучения состава тела используются во многих разделах клинической медицины. Соответствующие методы и технологии с успехом применяются для диагностики и контроля эффективности лечения избыточной массы тела и ожирения, сердечно-сосудистых, хронических инфекционных и почечных заболеваний, болезней опорно-двигательного аппарата. Например, в кардиохирургии, увеличение содержания жидкости в нижних конечностях высоко коррелирует с показателем смертности, а значение фазового угла (характеристика импеданса тела) является значимым прогностическим маркером времени дожития больных СПИДом. Мониторинг водных секторов организма, осуществляемый с использованием многочастотных биоимпедансных анализаторов, нашёл применение в интенсивной терапии и гемодиализе.

Вместе с тем, решение многих задач, возникающих в клинической медицине, лимитировано уровнем безопасности существующих технологий. Например, одним из ведущих принципов использования рентгеновской компьютерной томографии является разумный баланс между разрешающей способностью метода и дозой радиации, получаемой в ходе обследования.

В спортивной медицине на основе анализа состава тела создаются эффективные методики профессионального отбора и подготовки к соревнованиям. Наряду с антропометрией и калиперометрией применяются ультразвуковые, инфракрасные и биоимпедансные анализаторы, а также рентгеновское оборудование. На основе исследования основных показателей состава тела оценивается

эффективность лечебно-оздоровительных мероприятий. Массовыми потребителями технологий анализа состава тела человека становятся медицинские кабинеты при фитнес-клубах и косметологических салонах.

К перспективным областям применения методов изучения состава тела можно отнести *спортивную и космическую медицину, медицину катастроф, экстремальную профессиональную деятельность*. В связи с изучением причин возникновения профессиональных заболеваний и срывов адаптации большой интерес представляет характеристика нормальных и патологических изменений состава тела, характерных для конкретных видов деятельности и при адаптации к экстремальным нагрузкам и факторам внешней среды, таким как гипоксия, инсоляция, влажность, радиация, магнитное поле, давление, невесомость, стресс, сочетанные экзогенные факторы. Ввиду важности проблемы освоения новых пространств одно из направлений будущего развития может быть связано с созданием мобильных и портативных аппаратных комплексов с высокими разрешающими возможностями.

Дальнейшее развитие науки о составе тела связано с усовершенствованием уже имеющихся и разработкой новых технологий. С этой точки зрения могут представлять интерес последние достижения в области импедансной томографии (Holder, 2005), а также начало применения магнитно-резонансной спектроскопии для изучения молекулярного состава тела (Boesch, Kreis, 2000; Kamba et al., 2001; Rombeau, Rolandelli, 2001). Известны попытки применения рентгеновской денситометрии с использованием трёх энергий излучения (Kotzki et al., 1991; Swanpalmer et al., 1998).

Совершенствование технологий и методов определения состава тела человека, с учётом потребностей клинической медицины, экстремальной, профессиональной и спортивной деятельности, позволит значительно повысить эффективность решения клинических задач, коррекционных и профилактических мероприятий, и в целом, позволит осуществлять контроль за состоянием здоровья человека, в том числе при его адаптации к условиям среды обитания и профессиональной деятельности.

Приложения

Приложение 1. Этапы развития методов и технологий определения состава тела¹

Год	Событие
1667	Открытие спектральных свойств видимого света (И. Ньютон)
1669	Выделение и изучение фосфора — первого химического элемента с известной датой открытия ² (Х. Бранд)
1748	В костях животных обнаружен фосфор (Ганн)
1800	Открытие инфракрасной области спектра электромагнитных излучений (В. Гершель)
1807	Открытие и выделение калия (Г. Дэви)
1826	Установлен закон Ома для электрических цепей (Г. Ом)
1835	Начало применения математической статистики в антропометрии, введено понятие “среднего человека” (<i>l’homme moyen</i>), предложен первый весо-ростовой индекс физического развития человека (А. Кетле)
1839	Создана клеточная теория строения живых организмов (М. Шлейден, Т. Шванн)
1847	В тканях животных обнаружен калий. Начало применения методов химического анализа для изучения обмена веществ в организме (Ю. Либих)

¹Соответствующие даты показаны справа от вертикальной линии. Для сравнения слева приводятся некоторые даты открытий и изобретений, важных в контексте изучения состава тела. При составлении таблицы использованы данные, приведённые в (Чердынцев, 1956; Forbes, 1999; Wang et al., 1999; Кравчук, 2001; Pierson, 2003; Ross, 2003; Скальный, 2004; Neumsfield et al., 2005).

²Некоторые химические элементы, такие как углерод, сера, медь, серебро, золото, железо, олово и свинец, известны с глубокой древности (Чердынцев, 1956; Эмсли, 1993).

Год	Событие
1850	Начало применения электрометрии в научных исследованиях, появление приборов для измерения электрического сопротивления (В. Томсон)
1857	Установлен факт уменьшения с возрастом относительного содержания воды в организме животных и увеличения относительного содержания минеральных веществ (А. Безольд)
1863	Анализ нескольких трупов взрослых людей на содержание воды (Е. Бишоф)
1869	Построена периодическая таблица химических элементов (Д. И. Менделеев)
1869	Предложен наиболее популярный до сих пор индекс массы тела (А. Кетле)
1870	Появление концепции относительного постоянства внутренней среды организма как необходимого условия поддержания жизни (К. Бернар)
1880	Первое упоминание биоимпедансного метода определения электрической проводимости тканей тела (В. Томсон)
1889	Первая сводка данных о распространённости химических элементов в земной коре (Ф. Кларк)
1895	Открытие рентгеновского излучения (В. Рентген)
1895	Химический анализ состава тела человеческих эмбрионов и новорождённых
1896	Начало серийного производства рентгеновских аппаратов
1896	Открытие явления радиоактивности (А. Беккерель)
1900	Изобретены приборы для обнаружения инфракрасного излучения
1905	Открытие явления β -активности калия
1906	Появление концепции безжировой массы тела (А. Магнус-Леви)
1909	Предложен метод оценки мышечной массы тела на основе данных по экскреции креатинина (П. Шеффер, У. Колеман)
1910	Начало систематического изучения изотопов химических элементов, создание первого масс-спектрографа (Ф. Астон)
1915	Определение объёма плазмы крови (Н. Кейт и др.)
1919	Доказана возможность осуществления ядерных реакций (Э. Резерфорд)

Год	Событие
1920	Начало цикла работ, в которых была показана связь между химическим составом живых организмов и земной коры (В.И. Вернадский)
1921	Построены формулы для оценки состава тела на основе калиперометрии (Й. Матейка)
1925	Предложены устройства для измерения импеданса клеток и тканей организма (Г. Фрике, С. Морзе)
1925	Определение метаболического баланса организма
1934	Получены первые искусственные радиоактивные изотопы (И. и Ф. Кюри)
1935	Определение содержания жидкости в организме на основе метода разведения дейтерия
1936	Предложен активационный анализ (Д. Хевеши, Г. Леви)
1939	Разработан метод и сконструирована установка для определения коэффициента поляризации образцов живых тканей (Б.Н. Тарусов)
1942	Построен первый ядерный реактор (Э. Ферми)
1942	Определение состава тела на основе усовершенствованного метода гидростатического взвешивания, появление концепции тощей массы тела (А. Бенке и др.)
1943	Открытие явления K -распада для калия
1946	Открытие явления ядерного магнитного резонанса (Ф. Блох, Б. Парселл, Р. Паунд)
1952	Разработано устройство для измерения интенсивности γ -излучения из тела человека (Х. Энгер)
1952	Получены первые двумерные ультразвуковые медицинские изображения (Дж. Уайльд, Дж. Райд, Д. Хаури, У. Блисс)
1956	Создана первая в мире система обработки рентгеновских изображений (С.И. Тетельбаум, Б.И. Коренблюм, А.А. Тютин)
1958	Предложен метод оценки общего содержания калия в организме на основе измерения естественной радиоактивности всего тела (^{40}K)
1962	Начало серийного производства калипера Ланге (Cambridge Scientific Industries, США)
1962	Первое применение биоимпедансометрии для определения общей и внеклеточной жидкости (А. Томассет)
1963	Разработан метод монофотонной абсорбциометрии (Дж. Кэмерон, Дж. Соренсон)

Год	Событие
1963	Появление устройств для определения плотности тела на основе метода воздушной плетизмографии
1966	Начало применения ультразвука для определения содержания подкожного жира (Р. Бут, Б. Годдард, А. Патон)
1967	Начало применения нейтронного активационного анализа для определения элементного состава тела
1972	Предложение использовать явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР) для медицинской диагностики (Р. Дамадьян)
1972	Получено первое рентгеновское томографическое изображение (Г. Хаунсфилд, А. Мак-Кормак)
1973	Создан первый ЯМР-томограф (П. Лаутербур)
1973	Разработано устройство для бесконтактного определения электрической проводимости всего тела (В. Харкер)
1977	Получено первое ЯМР-изображение тела человека (Р. Дамадьян)
1979	Начало использования рентгеновской компьютерной томографии для изучения состава тела (С. Хеймсфилд)
1979	Начало массового производства биоимпедансных анализаторов состава тела (RJL Systems, Space Labs, Valhalla Scientific)
1980	Первое применение двухфотонной абсорбциометрии в клинической практике
1982	Разработан метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии
1984	Начало использования магнитно-резонансной томографии для изучения состава тела (М. Фостер и др.)
1984	Определение жировой массы тела на основе метода инфракрасного отражения (Дж. Конвэй и др.)
1984	Проведено исследование состава тела человеческих трупов — Brussels cadaver study (Дж. Клэрис, А. Мартин, Д. Дринкуотер)
1989	В СССР выпущен первый серийный биоимпедансный анализатор водных секторов организма ИСГТ-1
1992	Предложена пятиуровневая многокомпонентная модель состава тела (З. Ванг, Р. Пирсон, С. Хеймсфилд)
1994	Разработано устройство BOD POD (Life Measurement Instruments, США) для определения состава тела методом воздушной плетизмографии
1997	В России начат серийный выпуск первого автоматизированного биоимпедансного анализатора АВС-01 "Медасс"

**Приложение 2. Стандарты телосложения
и состав тела спортсменов высокой
квалификации, специализирующихся
в некоторых олимпийских видах спорта³**

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Длина тела, см								
Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	175,1	6,2	3,6	62	163,4	4,1	2,6
Бег на 400 м	54	177,8	4,2	2,3	32	167,4	5,7	3,4
Бег на 800 м	53	176,2	4,6	2,6	29	162,8	4,4	2,7
Бег на 1500 м	61	174,9	5,4	3,1	24	162,1	4,7	2,9
Бег на 3000 м					13	159,7	6,9	4,3
Бег на 5000 м	41	171,5	4,5	2,6				
Бег на 10000 м	41	171,5	5,4	3,2				
Бег на 100 м с/б					19	167,1	4,5	2,7
Бег на 110 м с/б	28	183,2	4,6	2,7				
Бег на 400 м с/б	21	179,3	6,6	3,8				
Бег на 3000 м с/п	21	174,3	5,1	2,9				
Спортивная ходьба, 20 км	57	174,5	5,0	2,9				
Спортивная ходьба, 50 км	39	173,7	4,9	2,8				
Марафон	131	169,6	5,5	3,2				
Метание диска	40	188,3	5,6	3,0	40	173,7	4,8	2,7
Метание копья	30	180,4	6,0	3,3	24	166,9	4,0	2,4
Метание молота	34	183,6	5,9	3,2				
Толкание ядра	27	186,5	4,6	2,5	25	173,1	4,9	2,9

³Обследованы спортсмены, входившие в основные составы сборных команд России и СССР: многократные чемпионы России, СССР, Европы и мира, олимпийские чемпионы, заслуженные мастера спорта, мастера спорта международного класса, мастера спорта СССР. Возраст обследованных составил от 16 до 25 лет, стаж занятий спортом — от 6 до 12 лет. Данные взяты из работы (Мартыросов, 1998б). В сборе экспериментального материала принимали участие ученики Э. Г. Мартыросова — сотрудники лаборатории спортивной антропологии, морфологии и генетики Всероссийского научно-исследовательского института физической культуры и спорта к.б.н. Т.Ф. Абрамова и Н.И. Кочеткова. Обозначения: *n* — размер выборки, \bar{x} — среднее значение показателя, σ — среднеквадратическое отклонение, *v* — коэффициент вариации. Абсолютную массу скелетных мышц, жировых тканей и массу скелета определяли по формулам Матейки.

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	181,2	5,2	2,9	24	164,4	3,6	2,2
Прыжки в высоту	35	185,3	4,6	2,5	28	171,9	4,4	2,6
Прыжки с шестом	24	180,9	4,1	2,3				
Тройной прыжок	23	178,8	6,8	3,8				
Десятиборье	28	184,9	5,5	3,0				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	180,2	5,1	2,8	30	169,1	4,8	2,8
Вольный стиль, 400 м	20	174,9	4,3	2,5	30	166,7	4,9	2,9
Вольный стиль, 800 м					30	165,1	4,2	2,6
Вольный стиль, 1500 м	20	174,0	5,9	3,4				
Дельфин	30	175,6	4,3	2,4	34	164,1	5,7	3,5
Брасс	40	174,0	5,3	3,0	30	166,7	4,6	2,8
На спине	30	182,0	4,0	2,2	30	169,1	4,6	2,7
Комплексное	35	180,4	4,7	2,6	30	166,4	4,7	2,8
Гребля								
На байдарках	50	181,5	5,1	2,8	31	167,1	5,1	3,0
Академическая	182	186,9	4,9	2,6	194	174,9	13,3	7,5
Коньки								
Спринт	42	175,2	5,0	2,9	16	164,9	4,8	2,9
Многоборье	60	176,5	6,3	3,6	50	164,9	5,5	3,3
Баскетбол								
Центровые	38	204,0	5,1	2,5	12	190,8	7,9	4,2
Нападающие	63	196,1	3,5	1,8	43	180,3	5,0	2,8
Защитники	75	187,2	4,9	2,6	29	170,4	3,8	2,3
Футбол								
Вратари	38	180,3	4,1	2,3				
Защитники	115	176,4	4,5	2,5				
Полузащитники	88	173,6	5,2	3,0				
Нападающие	85	173,2	4,4	2,6				
Лыжи, двоеборье	40	172,2	4,8	2,8				
Лыжи, горные	27	173,0	5,8	3,3	17	161,6	3,7	2,3
Биатлон	45	173,9	5,0	2,9				
Лыжи, трамплин	39	173,0	5,2	3,0				
Хоккей с мячом	25	173,6	5,5	3,2				
Хоккей с шайбой	64	176,8	3,7	2,1				
Спортивная гимнастика					28	154,4	5,8	3,8
Волейбол	15	189,6	4,0	2,1	28	174,5	4,5	2,6
Регби	28	179,2	5,7	3,2				
Водное поло	28	182,5	6,4	3,5				
Стрельба стендовая					19	163,3	6,5	4,0
Стрельба из лука					19	160,6	4,5	2,8
Сани					11	162,6	5,4	3,3

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v

Масса тела, кг

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	77,83	6,18	8,4	62	57,78	4,62	7,99
Бег на 400 м	54	70,82	5,45	7,7	32	57,82	5,76	9,96
Бег на 800 м	53	68,64	5,66	8,3	29	54,88	5,01	9,13
Бег на 1500 м	61	66,91	4,95	7,4	24	53,73	5,40	10,05
Бег на 3000 м					13	52,07	5,64	10,83
Бег на 5000 м	41	63,19	4,42	7,0				
Бег на 10000 м	41	62,85	5,08	8,0				
Бег на 100 м с/б					19	60,06	4,73	7,87
Бег на 110 м с/б	23	77,28	5,75	7,4				
Бег на 400 м с/б	21	73,66	6,06	8,2				
Бег на 3000 м с/п	21	67,82	6,45	9,5				
Спортивная ходьба, 20 км	57	69,17	5,88	8,5				
Спортивная ходьба, 50 км	39	68,85	5,73	8,3				
Марафон	131	63,93	4,46	7,0				
Метание диска	40	109,31	12,15	11,1	40	83,99	8,36	9,95
Метание копья	30	88,50	7,54	8,5	24	69,01	4,10	5,94
Метание молота	34	104,98	11,82	11,3				
Толкание ядра	27	112,37	14,14	12,6	25	90,36	9,44	10,45
Прыжки в длину	29	74,83	6,24	8,3	24	59,60	5,56	9,33
Прыжки в высоту	35	76,17	5,95	7,8	28	64,01	5,03	7,86
Прыжки с шестом	24	75,84	4,17	5,5				
Тройной прыжок	23	74,48	6,78	9,1				
Десятиборье	28	88,70	8,56	9,6				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	75,60	7,8	10,3	30	61,37	5,28	8,61
Вольный стиль, 400 м	20	67,50	5,6	8,3	30	58,05	5,50	9,47
Вольный стиль, 800 м				30		58,22	5,93	10,19
Вольный стиль, 1500 м	20	65,20	6,8	10,4				
Дельфин	30	72,40	4,2	5,8	34	59,14	5,99	10,13
Брасс	40	77,10	6,3	8,2	30	59,35	4,37	7,36
На спине	30	70,10	3,8	5,4	30	60,08	4,45	7,41
Комплексное	35	72,90	7,3	10,0	30	58,33	4,95	8,48
Гребля								
На байдарках	50	82,15	6,31	7,7	31	66,17	4,88	7,37
Академическая	182	87,51	6,77	7,7	194	78,84	6,22	7,9
Коньки								
Спринт	42	75,65	6,36	8,4	16	66,14	9,55	14,43
Многоборье	60	76,20	6,42	8,4	50	63,92	5,74	8,98
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Центровые	38	100,43	9,79	9,8	12	86,51	15,50	17
Нападающие	63	92,18	5,36	5,8	43	76,60	6,89	8,99
Защитники	75	84,19	5,74	6,8	29	66,30	4,87	7,35
Футбол								
Вратари	38	78,98	4,89	6,2				
Защитники	115	74,13	5,06	6,8				
Полузащитники	88	71,66	4,31	6,0				
Лыжи, двоеборье	40	69,4	5,1	7,3				
Лыжи, горные	27	72,6	6,9	9,5	17	57,3	3,4	5,9
Биатлон	45	71,9	6,3	8,7				
Лыжи, трамплин	39	67,7	5,2	7,6				
Хоккей с мячом	25	74,8	5,5	7,3				
Хоккей с шайбой	64	82,6	5,3	6,4				
Спортивная гимнастика					28	44,6	5,8	13,1
Волейбол	15	87,8	6,3	7,2				
Регби	28	86,6	8,6	10,0				
Водное поло	28	89,0	6,2	7,0				
Стрельба стендовая					19	61,6	6,4	10,3
Стрельба из лука					19	59,3	8,7	14,7
Сани					11	68,6	7,2	10,5

Обхват грудной клетки, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	95,4	4,0	4,2	62	83,4	3,3	4,0
Бег на 400 м	54	93,4	3,9	4,2	32	83,3	3,2	3,8
Бег на 800 м	53	92,9	4,1	4,4	29	82,4	3,1	3,7
Бег на 1500 м	61	91,7	3,3	3,6	24	81,7	2,9	3,6
Бег на 3000 м					13	80,4	2,9	3,6
Бег на 5000 м	41	89,4	3,9	4,4				
Бег на 10000 м	41	89,8	4,6	5,1				
Бег на 100 м с/б					19	84,2	2,9	3,4
Бег на 110 м с/б	23	94,9	4,2	4,4				
Бег на 400 м с/б	21	93,7	4,7	5,0				
Бег на 3000 м с/п	21	91,3	4,9	5,3				
Спортивная ходьба, 20 км	57	93,1	6,3	6,7				
Спортивная ходьба, 50 км	39	94,7	4,6	4,9				
Марафон	131	92,4	3,9	4,2				
Метание диска	40	113,0	7,3	6,4	40	96,4	5,7	5,9
Метание копья	30	103,4	4,8	4,7	24	88,8	3,4	3,8
Метание молота	34	110,7	8,3	7,5				
Толкание ядра	27	114,3	7,1	6,2	25	100,7	6,1	6,1
Прыжки в длину	29	93,8	6,2	6,6	24	84,4	3,6	4,2

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Прыжки в высоту	35	94,3	3,9	4,1	28	85,0	2,9	3,4
Прыжки с шестом	24	94,1	3,6	3,8				
Тройной прыжок	23	92,8	4,9	5,3				
Десятиборье	28	102,2	4,7	4,6				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	99,7	5,7	5,7	30	91,5	3,3	3,6
Вольный стиль, 400 м	20	99,3	1,8	1,8	30	90,3	3,2	3,5
Вольный стиль, 800 м					30	90,3	3,9	4,3
Вольный стиль, 1500 м	30	97,1	2,4	0,4				
Дельфин	30	99,6	2,7	0,7	34	91,7	3,5	3,8
Брасс	40	97,2	2,3	2,4	30	89,7	3,0	3,4
На спине	30	99,1	3,2	3,2	30	90,7	4,1	4,5
Комплексное	35	99,8	2,4	2,4	30	92,7	3,9	4,3
Гребля								
На байдарках	50	103,0	4,0	3,9	31	92,1	2,7	2,9
Академическая	182	101,4	4,4	4,3	194	92,6	4,7	5,0
Коньки								
Спринт	42	95,5	4,2	4,4	16	87,3	5,7	6,5
Многоборье	60	95,7	4,1	4,2	50	87,1	3,5	4,1
Баскетбол								
Центровые	38	103,5	5,4	5,2	12	94,6	7,5	8,0
Нападающие	63	100,9	3,9	3,9	43	90,7	3,5	3,8
Защитники	75	98,0	3,9	4,0	29	86,9	3,4	3,9
Футбол								
Вратари	38	95,7	4,0	4,1				
Защитники	115	92,7	3,4	3,7				
Полузащитники	88	91,9	2,7	3,0				
Нападающие	85	92,5	3,4	3,6				
Лыжи, двоеборье	40	93,3	3,6	3,9				
Лыжи, горные	27	95,1	4,9	5,1	17	84,7	3,9	4,6
Биатлон	45	96,4	4,8	5,0				
Лыжи, трамплин	39	90,9	3,4	3,8				
Хоккей с мячом	25	95,0	2,5	2,7				
Хоккей с шайбой	64	100,0	3,6	3,6				
Спортивная гимнастика					28	79,7	4,6	5,8
Волейбол	15	101,3	4,6	4,4	28	89,6	3,1	3,5
Регби	28	101,5	5,2	5,1				
Водное поло	28	110,2	3,8	3,5				
Стрельба стендовая					19	87,4	6,2	7,1
Стрельба из лука					19	83,3	4,4	5,3

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>

Площадь поверхности тела, м²

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	1,89	0,12	6,35	62	1,62	0,06	3,88
Бег на 400 м	54	1,89	0,09	4,77	32	1,65	0,11	6,67
Бег на 800 м	53	1,85	0,10	5,42	29	1,59	0,08	5,03
Бег на 1500 м	61	1,82	0,09	4,95	24	1,57	0,08	5,10
Бег на 3000 м					13	1,55	0,09	5,86
Бег на 5000 м	41	1,75	0,08	4,58				
Бег на 10000 м	41	1,74	0,09	5,17				
Бег на 100 м с/б					19	1,67	0,08	4,80
Бег на 110 м с/б	23	2,00	0,10	5,00				
Бег на 400 м с/б	21	1,94	0,13	6,70				
Бег на 3000 м с/п	21	1,83	0,11	6,13				
Спортивная ходьба, 20 км	57	1,84	0,10	5,43				
Спортивная ходьба, 50 км	39	1,82	0,10	5,49				
Марафон	131	1,73	0,08	4,62				
Метание диска	40	2,37	0,15	6,33	40	1,97	0,10	5,08
Метание копья	30	2,09	0,13	6,22	24	1,76	0,07	3,98
Метание молота	34	2,29	0,15	6,55				
Толкание ядра	27	2,39	0,17	7,11	25	2,03	0,13	6,40
Прыжки в длину	29	1,96	0,11	5,43	24	1,64	0,08	4,88
Прыжки в высоту	35	2,02	0,10	4,95	28	1,76	0,09	5,11
Прыжки с шестом	24	1,97	0,08	4,06				
Тройной прыжок	23	1,93	0,13	6,73				
Десятиборье	28	2,14	0,14	6,50				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	1,96	0,11	5,6	30	1,71	0,09	5,39
Вольный стиль, 400 м	20	1,82	0,08	4,4	30	1,65	0,10	5,78
Вольный стиль, 800 м					30	1,63	0,09	5,43
Вольный стиль, 1500 м	20	1,80	0,11	6,1				
Дельфин	30	1,88	0,08	4,2	34	1,63	0,11	6,56
Брасс	40	1,91	0,09	4,7	30	1,66	0,09	5,47
На спине	30	1,92	0,06	3,1	30	1,69	0,08	4,92
Комплексное	35	1,93	0,08	4,1	30	1,65	0,09	5,26
Гребля								
На байдарках	50	2,04	0,11	5,23	31	1,74	0,09	5,17
Академическая	182	2,15	0,10	4,86	194	1,95	0,09	4,61
Коньки								
Спринт	42	1,91	0,10	5,44	16	1,71	0,13	7,49
Многоборье	60	1,93	0,12	6,18	50	1,68	0,10	6,11
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Центровые	38	2,44	0,13	5,40	12	2,17	0,23	10,60
Нападающие	63	2,28	0,07	2,95	43	1,97	0,10	5,08
Защитники	75	2,11	0,10	4,55	29	1,77	0,07	4,10
Футбол								
Вратари	38	1,99	0,08	4,02				
Защитники	115	1,91	0,09	4,71				
Полузащитники	88	1,85	0,09	4,86				
Нападающие	85	1,86	0,09	4,84				
Лыжи, двоеборье	40	1,82	0,09	4,94				
Лыжи, горные	27	1,86	0,11	5,91	17	1,59	0,06	3,77
Биатлон	45	1,88	0,11	5,85				
Лыжи, трамплин	39	1,81	0,07	3,87				
Хоккей с мячом	25	1,88	0,01	5,30				
Хоккей с шайбой	64	1,97	0,11	5,60				
Спортивная гимнастика					28	1,30	0,12	9,20
Волейбол	15	2,15	0,10	4,60				
Регби	28	2,06	0,12	5,80				
Водное поло	28	2,10	0,19	9,10				
Стрельба стендовая					19	1,65	0,11	6,70
Стрельба из лука					19	1,62	0,11	6,80
Сани					11	1,72	0,30	17,44

Поперечный среднегрудный диаметр грудной клетки, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	28,2	1,6	5,8	62	24,7	1,5	6,2
Бег на 400 м	54	27,8	1,5	5,5	32	24,8	1,3	5,3
Бег на 800 м	53	27,9	1,3	4,6	29	24,9	1,5	6,1
Бег на 1500 м	61	27,6	1,6	5,8	24	24,7	1,2	4,7
Бег на 3000 м					13	24,6	0,8	3,2
Бег на 5000 м	41	27,2	1,5	5,4				
Бег на 10000 м	41	26,7	1,5	5,5				
Бег на 100 м с/б					19	24,9	1,7	6,8
Бег на 110 м с/б	23	28,7	1,4	5,0				
Бег на 400 м с/б	21	28,0	1,3	4,5				
Бег на 3000 м с/п	21	27,8	1,5	5,5				
Спортивная ходьба, 20 км	57	28,5	1,7	6,0				
Спортивная ходьба, 50 км	39	28,5	1,5	5,3				
Марафон	131	27,5	1,6	5,7				
Метание диска	40	31,9	2,4	7,4	40	27,6	1,5	5,5
Метание копья	30	30,4	1,5	4,9	24	26,2	1,1	4,3
Метание молота	34	31,4	1,8	5,6				
Толкание ядра	27	32,5	2,2	6,6	25	27,8	2,1	7,4

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	28,0	1,5	5,4	24	24,7	1,7	7,0
Прыжки в высоту	35	28,3	1,4	4,8	28	24,9	1,2	4,7
Прыжки с шестом	24	27,9	1,3	4,8				
Тройной прыжок	23	27,7	1,5	5,5				
Десятиборье	28	29,8	1,2	4,2				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	29,4	1,7	5,8	30	27,1	1,2	4,6
Вольный стиль, 400 м	20	29,3	1,1	3,8	30	26,3	1,7	6,5
Вольный стиль, 800 м					30	26,8	1,3	4,8
Вольный стиль, 1500 м	20	28,8	1,3	4,5				
Дельфин	30	28,9	1,1	3,8	34	27,2	1,4	5,0
Брасс	40	28,8	1,2	4,0	30	26,2	1,2	4,7
На спине	30	29,1	1,3	4,5	30	26,6	1,1	4,0
Комплексное	35	29,9	1,6	5,4	30	26,5	1,5	5,7
Гребля								
На байдарках	50	29,6	1,5	5,2	31	26,5	1,2	4,5
Академическая	182	29,8	1,7	5,6	195	26,4	1,4	5,2
Коньки								
Спринт	42	28,5	1,5	5,1	16	25,7	1,7	6,7
Многоборье	60	28,7	1,8	6,2	50	25,5	1,3	5,0
Баскетбол								
Центровые	38	31,2	2,0	6,4	12	28,1	2,3	8,3
Нападающие	63	30,6	1,6	5,2	43	27,1	1,6	6,0
Защитники	75	29,7	1,4	4,7	29	26,3	1,5	5,7
Футбол								
Вратари	38	28,9	1,5	5,2				
Защитники	115	28,2	1,1	4,0				
Полузащитники	88	28,1	1,1	4,0				
Нападающие	85	28,2	1,2	4,3				
Лыжи, двоеборье	40	27,7	1,2	4,3				
Лыжи, горные	27	27,5	1,8	6,7	17	24,7	1,4	5,9
Биатлон	45	28,7	1,2	4,3				
Лыжи, трамплин	39	27,4	1,3	4,9				
Хоккей с мячом	25	28,2	1,3	4,5				
Хоккей с шайбой	64	30,2	3,1	10,4				
Спортивная гимнастика					28	23,3	2,1	8,9
Волейбол	15	29,4	1,6	5,4	28	25,4	1,2	4,9
Регби	28	29,8	2,0	6,6				
Водное поло	28	30,6	1,5	4,9				
Стрельба стендовая					19	26,2	1,6	6,3
Стрельба из лука					19	24,9	1,4	5,5
Сани					11	24,8	1,1	4,4

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v

Сагиттальный среднегрудинный диаметр грудной клетки, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	19,6	1,3	6,4	62	17,3	1,3	7,3
Бег на 400 м	54	19,7	1,4	7,0	32	17,3	1,0	5,8
Бег на 800 м	53	19,6	1,3	6,9	29	17,4	1,1	6,4
Бег на 1500 м	61	19,7	1,7	8,4	24	17,5	1,1	6,4
Бег на 3000 м					13	17,4	1,1	6,4
Бег на 5000 м	41	19,3	1,3	6,9				
Бег на 10000 м	41	19,7	1,4	7,1				
Бег на 100 м с/б					19	16,7	1,1	6,4
Бег на 110 м с/б	23	20,0	1,5	7,7				
Бег на 400 м с/б	21	19,6	1,3	6,7				
Бег на 3000 м с/п	21	19,8	1,4	7,1				
Спортивная ходьба, 20 км	57	20,0	1,4	7,2				
Спортивная ходьба, 50 км	39	19,9	1,3	6,6				
Марафон	131	19,3	1,3	6,9				
Метание диска	40	23,6	2,5	10,5	40	19,3	1,5	7,8
Метание копья	30	20,8	1,3	6,1	24	18,0	0,9	5,1
Метание молота	34	22,7	2,0	8,7				
Толкание ядра	27	23,7	1,8	7,5	25	20,2	1,8	8,9
Прыжки в длину	29	19,7	1,3	6,5	24	17,0	1,1	6,5
Прыжки в высоту	35	19,8	1,2	5,8	28	17,1	1,2	7,2
Прыжки с шестом	24	19,9	1,2	6,2				
Тройной прыжок	23	19,6	1,8	9,1				
Десятиборье	28	21,2	1,3	6,0				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	22,8	2,1	9,2	30	19,5	1,1	5,7
Вольный стиль, 400 м	20	22,6	2,2	9,7	30	18,7	1,0	5,1
Вольный стиль, 800 м					30	18,9	0,8	4,2
Вольный стиль, 1500 м	20	22,1	1,6	7,2				
Дельфин	30	23,2	1,9	8,2	34	19,1	1,2	6,2
Брасс	40	21,4	1,7	7,9	30	18,7	1,6	8,5
На спине	40	21,2	1,3	6,1	30	18,9	1,5	7,7
Комплексное	35	22,9	1,3	5,7	30	19,3	1,1	5,5
Гребля								
На байдарках	50	21,3	1,2	5,7	31	18,8	1,3	6,9
Академическая	182	21,4	1,3	6,0	195	19,2	1,4	7,3
Коньки								
Спринт	42	20,1	1,5	7,2	16	18,2	1,7	9,2
Многоборье	60	20,3	1,6	7,8	50	18,0	1,0	5,8
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Центровые	38	23,1	2,1	9,2	12	20,0	1,9	9,7
Нападающие	63	22,0	1,2	5,4	43	19,7	1,3	6,8
Защитники	75	21,4	1,4	6,6	29	19,0	1,0	5,0
Футбол								
Вратари	38	20,9	1,2	5,9				
Защитники	115	20,3	1,2	6,0				
Полузащитники	88	20,1	1,1	5,7				
Нападающие	85	20,2	1,2	6,0				
Лыжи, двоеборье	40	19,1	1,4	7,2				
Лыжи, горные	27	20,0	1,2	5,9	17	17,3	1,1	6,4
Биатлон	45	20,9	1,1	5,4				
Лыжи, трамплин	39	18,4	1,4	7,6				
Хоккей с мячом	25	20,5	1,5	7,2				
Хоккей с шайбой	64	21,2	1,0	4,5				
Спортивная гимнастика					28	15,5	1,1	6,9
Волейбол	15	20,4	1,5	7,3	28	17,8	1,5	8,2
Регби	28	21,3	1,7	8,0				
Водное поло	28	22,6	1,1	4,9				
Стрельба стендовая					19	17,7	1,9	10,8
Стрельба из лука					19	18,2	1,3	7,2
Сани					11	18,3	1,8	9,8

Тазогребневый диаметр, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	27,8	2,0	7,2	62	27,1	2,0	7,2
Бег на 400 м	54	27,9	1,5	5,3	32	27,1	1,9	7,0
Бег на 800 м	53	28,1	1,5	5,5	29	27,0	2,0	7,4
Бег на 1500 м	61	27,8	1,4	4,9	24	26,3	1,7	6,4
Бег на 3000 м					13	26,5	1,6	5,9
Бег на 5000 м	41	27,3	1,5	5,4				
Бег на 10000 м	41	27,1	1,3	4,9				
Бег на 100 м с/б					19	27,4	1,5	5,6
Бег на 110 м с/б	23	27,9	1,4	4,8				
Бег на 400 м с/б	21	28,8	1,5	5,3				
Бег на 3000 м с/п	21	27,8	1,2	4,1				
Спортивная ходьба, 20 км	57	27,9	1,6	5,6				
Спортивная ходьба, 50 км	39	28,0	2,1	7,5				
Марафон	131	27,6	1,8	6,7				
Метание диска	40	30,9	1,8	6,0	40	30,5	1,9	6,1
Метание копья	30	29,4	1,7	5,8	24	27,7	2,3	8,3
Метание молота	34	30,3	1,6	5,4				
Толкание ядра	27	30,9	1,5	4,8	25	30,5	1,9	6,4

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	28,3	2,0	7,1	24	26,7	2,2	8,2
Прыжки в высоту	35	28,4	1,4	4,9	28	27,8	1,9	6,9
Прыжки с шестом	24	27,9	1,3	4,5				
Тройной прыжок	23	27,6	1,6	5,7				
Десятиборье	28	29,4	1,4	4,7				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	25,3	1,3	5,1	30	26,7	1,5	5,6
Вольный стиль, 400 м	20	25,4	1,3	5,1	30	25,0	3,8	15,0
Вольный стиль, 800 м					30	26,3	1,5	5,6
Вольный стиль, 1500 м	20	24,6	0,8	3,1				
Дельфин	30	25,2	1,3	5,2	34	26,2	1,3	4,9
Брасс	40	25,8	1,3	5,0	30	26,4	1,4	5,1
На спине	30	25,4	1,3	5,1	30	26,6	1,3	4,7
Комплексное	35	25,3	1,2	4,7	30	24,6	5,1	20,7
Гребля								
На байдарках	50	28,3	2,1	7,5	31	28,0	1,9	6,7
Академическая	182	29,6	1,7	5,7	194	28,9		
Коньки								
Спринт	42	28,4	1,6	5,8	16	27,7	2,6	9,2
Многоборье	60	27,9	2,2	7,8	50	27,7	1,4	5,2
Баскетбол								
Центровые	38	32,2	2,2	6,9	12	31,9	2,6	8,1
Нападающие	63	31,3	1,7	5,5	43	30,2	1,6	5,4
Защитники	75	29,9	1,5	5,0	29	28,8	1,8	6,4
Футбол								
Вратари	38	29,1	1,5	5,0				
Защитники	115	28,4	1,4	4,8				
Полузащитники	88	27,8	1,4	4,9				
Нападающие	85	28,0	1,5	5,2				
Лыжи, двоеборье	40	27,7	1,3	4,7				
Лыжи, горные	27	27,1	1,7	6,5	17	26,3	1,3	4,9
Биатлон	45	27,7	1,2	4,5				
Лыжи, трамплин	39	27,5	1,5	5,4				
Хоккей с мячом	25	25,8	1,6	6,1				
Хоккей с шайбой	64	31,3	1,8	5,8				
Спортивная гимнастика					28	24,1	1,5	6,3
Волейбол	15	30,0	1,2	4,1	28	28,9	2,8	9,6
Регби	28	27,9	2,4	8,6				
Водное поло	28	29,0	1,9	6,4				
Стрельба стендовая					19	27,9	2,7	9,5
Стрельба из лука					19	24,7	3,5	14,0
Сани					11	27,0	2,4	8,9

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v

Обхват спокойного плеча, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	29,4	1,5	5,2	62	24,9	1,7	6,7
Бег на 400 м	54	28,2	1,7	6,0	32	24,2	1,7	7,2
Бег на 800 м	53	27,3	1,7	6,1	29	23,7	1,5	6,5
Бег на 1500 м	61	26,6	1,3	4,9	24	23,4	1,9	8,3
Бег на 3000 м					13	23,6	1,5	6,3
Бег на 5000 м	41	25,6	1,2	4,9				
Бег на 10000 м	41	25,7	1,7	6,6				
Бег на 100 м с/б					19	25,2	1,7	6,8
Бег на 110 м с/б	23	28,8	1,9	6,5				
Бег на 400 м с/б	21	28,0	1,8	6,5				
Бег на 3000 м с/п	21	26,5	1,4	5,2				
Спортивная ходьба, 20 км	57	27,8	1,5	5,4				
Спортивная ходьба, 50 км	39	28,3	1,3	4,6				
Марафон	131	26,2	1,6	6,1				
Метание диска	40	37,0	3,0	8,1	40	32,3	2,4	7,4
Метание копья	30	32,2	7,7	24,0	24	29,2	1,9	6,6
Метание молота	34	36,7	2,8	7,6				
Толкание ядра	27	38,8	3,1	8,1	25	34,2	2,7	8,0
Прыжки в длину	29	28,9	1,9	6,7	24	35,5	1,7	6,7
Прыжки в высоту	35	28,9	1,8	6,3	28	25,5	1,7	6,7
Прыжки с шестом	24	30,1	1,6	5,3				
Тройной прыжок	23	28,7	1,8	6,2				
Десятиборье	28	34,0	1,7	5,1				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	31,8	2,2	7,0	30	27,9	1,6	5,7
Вольный стиль, 400 м	20	31,3	1,1	3,5	30	27,6	1,7	6,3
Вольный стиль, 800 м					30	27,7	1,7	6,1
Вольный стиль, 1500 м	20	29,0	1,4	4,8				
Дельфин	30	32,2	2,0	6,2	34	28,4	2,1	7,5
Брасс	40	31,5	1,6	5,1	30	27,9	1,5	5,3
На спине	30	31,3	1,6	5,1	30	28,2	1,5	5,3
Комплексное	35	30,4	1,4	4,3	30	27,9	1,7	6,1
Гребля								
На байдарках	50	32,0	1,7	5,2	31	28,8	1,4	4,7
Академическая	182	32,0	1,8	5,6				
Коньки								
Спринт	42	29,8	1,5	4,9	16	27,3	2,1	7,5
Многоборье	60	29,7	1,5	5,1	50	27,1	1,6	5,8
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Центровые	38	31,6	2,1	6,5	12	29,1	2,2	7,7
Нападающие	63	31,1	1,8	5,9	43	28,5	2,1	7,3
Защитники	75	31,0	2,0	6,4	29	27,4	1,6	5,8
Футбол								
Вратари	38	30,2	1,5	5,0				
Защитники	115	28,5	1,2	4,4				
Полузащитники	88	28,2	1,3	4,5				
Нападающие	85	28,4	1,3	4,4				
Лыжи, двоеборье	40	29,3	1,2	4,1				
Лыжи, горные	27	29,6	1,7	5,6	17	26,3	1,5	5,8
Биатлон	45	30,0	1,5	5,1				
Лыжи, трамплин	39	28,2	1,6	5,8				
Хоккей с мячом	25	28,6	1,3	4,4				
Хоккей с шайбой	64	32,3	2,1	6,5				
Спортивная гимнастика					28	23,5	1,3	5,6
Волейбол	15	32,2	2,2	6,9	28	27,7	1,8	6,5
Регби	28	32,4	2,4	7,3				
Водное поло	28	33,6	2,2	6,6				
Стрельба стендовая					19	28,0	3,6	12,8
Стрельба из лука					19	26,0	2,4	9,1
Сани					11	30,2	1,4	4,6

Обхват напряжённого плеча, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	32,5	1,7	5,1	62	26,9	1,7	6,2
Бег на 400 м	54	30,8	2,3	7,6	32	26,2	1,8	7,0
Бег на 800 м	53	30,1	1,7	5,5	29	25,5	1,6	6,1
Бег на 1500 м	61	29,2	1,3	4,6	24	25,2	1,8	7,1
Бег на 3000 м					13	25,2	1,7	6,6
Бег на 5000 м	41	28,1	1,4	5,2				
Бег на 10000 м	41	28,2	1,9	6,6				
Бег на 100 м с/б					19	27,2	1,7	6,4
Бег на 110 м с/б	23	31,1	2,0	6,6				
Бег на 400 м с/б	21	30,7	2,1	6,9				
Бег на 3000 м с/п	21	29,3	1,4	4,9				
Спортивная ходьба, 20 км	57	30,5	1,6	5,2				
Спортивная ходьба, 50 км	39	31,3	1,4	4,6				
Марафон	131							
Метание диска	40	41,3	3,2	7,8	40	34,6	2,5	7,4
Метание копья	30	36,7	2,3	6,3	24	31,0	1,8	5,9
Метание молота	34	39,9	2,6	6,7				
Толкание ядра	27	41,8	3,1	7,4	25	26,3	2,8	7,7

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	31,7	1,9	5,9	24	27,5	2,3	8,2
Прыжки в высоту	35	32,1	2,0	6,3	28	27,2	1,6	6,0
Прыжки с шестом	24	33,6	1,9	5,7				
Тройной прыжок	23	31,8	2,1	6,5				
Десятиборье	28	36,5	2,1	5,8				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40				30	29,9	2,0	6,5
Вольный стиль, 400 м	20				30	29,4	1,6	5,4
Вольный стиль, 800 м					30	29,5	1,7	5,7
Вольный стиль, 1500 м								
Дельфин	30				34	30,6	2,2	7,1
Брасс	40				30	31,1	1,4	4,8
На спине	30				30	30,0	1,8	6,0
Комплексное	35				30	29,7	1,7	5,9
Гребля								
На байдарках	50	35,1	1,7	4,8	31	30,9	1,9	6,1
Академическая	182	35,1	1,9	5,4				
Коньки								
Спринт	42	32,8	1,7	5,3	16	28,9	2,1	7,3
Многоборье	60	32,3	1,8	5,4	50	28,9	1,6	5,6
Баскетбол								
Центровые	38	34,7	1,8	5,3	12	30,8	2,4	7,7
Нападающие	63	34,0	1,8	5,2	43	30,4	2,1	6,8
Защитники	75	33,6	1,9	5,7	29	29,1	1,5	5,1
Футбол								
Вратари	38							
Защитники	115							
Полузащитники	88							
Нападающие	85							
Лыжи, двоеборье	40	31,9	1,4	4,5				
Лыжи, горные	27	32,3	1,9	5,8	17	28,1	1,8	6,4
Биатлон	45	33,0	1,7	5,1				
Лыжи, трамплин	39	31,4	2,2	7,1				
Хоккей с мячом	25	32,5	1,9	5,9				
Хоккей с шайбой	64	35,1	2,2	6,4				
Спортивная гимнастика					28	25,3	1,4	5,4
Волейбол	15	34,8	2,3	6,6	28	29,6	2,5	8,4
Регби	28	35,8	2,4	6,6				
Водное поло	28	36,6	2,0	5,5				
Стрельба стендовая					19	29,4	3,5	12,0
Стрельба из лука					19	28,4	2,4	8,3
Сани					11	32,2	2,5	7,8

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>

Обхват предплечья, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	27,6	1,4	5,0	62	23,3	1,1	4,5
Бег на 400 м	54	26,6	1,2	4,6	32	23,2	1,2	5,2
Бег на 800 м	53	26,4	1,1	4,3	29	22,7	1,2	5,5
Бег на 1500 м	61	25,7	1,0	3,9	24	22,4	1,4	6,1
Бег на 3000 м					13	22,6	1,1	5,1
Бег на 5000 м	41	24,8	1,1	4,3				
Бег на 10000 м	41	25,0	1,1	4,5				
Бег на 100 м с/б					19	23,5	1,1	4,8
Бег на 110 м с/б	23	27,1	1,5	5,5				
Бег на 400 м с/б	21	26,8	1,4	5,3				
Бег на 3000 м с/п	21	25,6	1,0	3,8				
Спортивная ходьба, 20 км	57	26,6	1,2	4,4				
Спортивная ходьба, 50 км	39	27,0	1,2	4,3				
Марафон	131	25,6	1,5	5,8				
Метание диска	40	33,1	1,5	4,7	40	28,1	1,4	4,9
Метание копья	30	30,6	1,7	5,5	24	25,6	0,9	3,6
Метание молота	34	32,0	1,8	5,7				
Толкание ядра	27	33,1	1,7	5,1	25	29,2	2,1	7,1
Прыжки в длину	29	27,5	1,4	5,2	24	23,6	1,2	5,3
Прыжки в высоту	35	27,5	1,2	4,4	28	23,9	1,1	4,6
Прыжки с шестом	24	28,2	1,2	4,2				
Тройной прыжок	23	27,2	1,3	4,8				
Десятиборье	28	29,4	2,2	7,6				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	27,3	1,5	5,5	30	24,3	1,0	4,0
Вольный стиль, 400 м	20	27,7	0,9	3,1	30	24,1	1,2	5,1
Вольный стиль, 800 м					30	24,3	1,1	4,3
Вольный стиль, 1500 м	20	26,5	1,0	3,8				
Дельфин	30	28,0	1,1	3,9	34	24,4	1,2	4,9
Брасс	40	27,6	1,5	5,4	30	24,7	1,3	5,5
На спине	30	27,0	1,1	4,1	30	24,2	1,1	4,3
Комплексное	35	27,0	1,4	5,2	30	24,4	1,0	3,9
Гребля								
На байдарках	50	29,3	1,2	4,1	31	26,0	1,0	3,7
Академическая	182	30,1	1,3	4,4				
Коньки								
Спринт	42	27,8	1,3	4,6	16	25,0	1,7	6,3
Многоборье	60	27,8	1,3	4,8	50	24,3	0,8	3,5
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Центровые	38	30,1	1,6	5,2	12	26,1	1,8	7,0
Нападающие	63	29,2	1,4	4,8	43	25,8	1,2	4,5
Защитники	75	28,6	1,2	4,4	29	24,6	0,9	3,8
Футбол								
Вратари	38	28,6	1,4	5,0				
Защитники	115	27,0	1,2	4,3				
Полузащитники	88	26,5	1,1	4,3				
Нападающие	85	26,8	1,1	4,3				
Лыжи, двоеборье	40	27,0	0,9	3,4				
Лыжи, горные	27	28,3	1,4	4,9	17	23,9	1,0	4,1
Биатлон	45	27,4	1,1	4,0				
Лыжи, трамплин	39	26,6	1,5	5,7				
Хоккей с мячом	25	27,8	1,3	4,6				
Хоккей с шайбой	64	29,3	1,4	4,7				
Спортивная гимнастика					28	22,2	1,3	5,8
Волейбол	15	29,4	1,4	4,7	28	26,2	1,0	3,8
Регби	28	29,6	1,9	6,3				
Водное поло	28	30,1	3,2	10,7				
Стрельба стендовая					19	25,2	2,0	8,0
Стрельба из лука					19	24,6	1,8	7,2
Сани					11	26,7	1,6	6,0

Обхват бедра, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	57,3	2,6	4,5	62	55,4	2,6	4,7
Бег на 400 м	54	55,2	2,3	4,2	32	53,7	4,2	7,7
Бег на 800 м	53	54,0	2,1	3,9	29	52,1	2,8	5,4
Бег на 1500 м	61	52,7	2,2	4,2	24	51,8	3,1	5,9
Бег на 3000 м					13	51,7	2,1	4,0
Бег на 5000 м	41	50,7	2,1	4,1				
Бег на 10000 м	41	51,2	2,1	4,1				
Бег на 100 м с/б					19	56,2	3,6	6,3
Бег на 110 м с/б	23	57,0	2,4	4,1				
Бег на 400 м с/б	21	56,3	2,4	4,3				
Бег на 3000 м с/п	21	53,1	2,4	4,4				
Спортивная ходьба, 20 км	57	54,1	2,3	4,2				
Спортивная ходьба, 50 км	39	53,9	2,1	3,9				
Марафон	131	51,8	2,4	4,7				
Метание диска	40	68,2	4,1	6,0	40	65,8	4,2	6,4
Метание копья	30	62,3	2,8	4,4	24	61,7	3,6	5,8
Метание молота	34	68,3	4,5	6,6				
Толкание ядра	27	69,8	4,8	6,8	25	67,8	4,1	6,9

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	57,1	2,7	4,7	24	56,2	2,9	5,2
Прыжки в высоту	35	56,9	2,8	4,9	28	56,2	3,0	5,4
Прыжки с шестом	24	55,6	2,4	4,4				
Тройной прыжок	23	56,4	2,5	4,4				
Десятиборье	28	61,1	2,8	4,7				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	57,1	4,2	7,4	30	54,8	2,8	5,1
Вольный стиль, 400 м	20	55,6	2,1	3,8	30	54,3	3,7	6,8
Вольный стиль, 800 м					30	54,2	3,5	6,4
Вольный стиль, 1500 м	20	53,2	2,2	4,1				
Дельфин	30	55,7	2,2	3,9	34	55,5	3,0	5,5
Брасс	40	56,8	2,6	4,6	30	55,8	3,1	5,5
На спине	30	50,8	3,2	6,3	30	55,4	2,9	5,2
Комплексное	35	52,6	3,0	5,7	30	54,0	3,8	7,1
Гребля								
На байдарках	50	56,6	2,0	3,5	31	57,1	2,5	4,4
Академическая	182	60,3	2,9	4,9				
Коньки								
Спринт	42	59,9	2,5	4,1	1,6	59,8	3,5	5,8
Многоборье	60	59,1	2,5	4,3	50	59,3	2,5	4,2
Баскетбол								
Центровые	38	61,8	3,4	5,6	12	63,2	3,1	4,8
Нападающие	63	60,7	3,3	3,8	43	61,3	3,2	5,2
Защитники	75	59,7	2,7	4,5	29	58,7	2,8	4,7
Футбол								
Вратари	38	57,4	2,1	3,7				
Защитники	115	56,9	2,1	3,8				
Полузащитники	88	56,3	2,1	3,7				
Нападающие	85	56,6	2,2	3,8				
Лыжи, двоеборье	40	55,1	2,2	4,0				
Лыжи, горные	27	56,8	2,8	4,9	17	55,9	2,1	3,8
Биатлон	45	55,3	2,7	4,9				
Лыжи, трамплин	39	54,9	2,5	4,5				
Хоккей с мячом	25	58,0	1,6	2,8				
Хоккей с шайбой	64	61,1	2,8	4,5				
Спортивная гимнастика					28	47,7	3,1	6,6
Волейбол	15	60,0	1,8	3,0	28	60,0	3,2	5,4
Регби	28	61,0	3,6	5,8				
Водное поло	28	61,0	2,5	4,1				
Стрельба стендовая					19	56,3	4,2	7,5
Стрельба из лука					19	55,9	5,0	8,9

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v

Обхват голени, см

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	38,8	2,1	5,4	62	35,7	1,8	5,0
Бег на 400 м	54	37,9	1,6	4,1	32	35,6	1,8	5,1
Бег на 800 м	53	37,3	1,9	5,0	29	35,2	1,7	4,9
Бег на 1500 м	61	36,6	1,8	5,0	24	34,6		
Бег на 3000 м					13	34,8	2,2	6,2
Бег на 5000 м	41	35,9	1,8	5,1				
Бег на 10000 м	41	35,7	1,7	4,7				
Бег на 100 м с/б					19	35,9	1,5	4,2
Бег на 110 м с/б	23	38,5	2,1	5,4				
Бег на 400 м с/б	21	38,1	1,5	3,8				
Бег на 3000 м с/п	21	37,1	2,2	6,0				
Спортивная ходьба, 20 км	57	37,8	1,8	4,7				
Спортивная ходьба, 50 км	39	38,1	2,0	5,3				
Марафон	131	36,4	1,8	4,8				
Метание диска	40	42,2	2,1	4,9	40	40,2	2,1	5,2
Метание копья	30	40,4	1,7	4,2	24	38,0	2,2	5,3
Метание молота	34	42,2	2,4	5,6				
Толкание ядра	27	43,5	2,6	6,0	25	41,8	2,7	6,6
Прыжки в длину	29	38,6	1,9	5,0	24	36,6	1,7	4,7
Прыжки в высоту	35	38,2	1,8	4,8	28	36,5	1,6	4,4
Прыжки с шестом	24	37,5	1,4	3,7				
Тройной прыжок	23	37,8	2,0	5,3				
Десятиборье	28	40,8	2,4	5,8				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	38,3	1,9	4,9	30	34,1	2,0	5,9
Вольный стиль, 400 м	20	37,4	0,9	2,3	30	34,2	1,8	5,4
Вольный стиль, 800 м					30	34,4	2,0	5,9
Вольный стиль, 1500 м	20	38,0	1,2	3,2				
Дельфин	30	38,0	1,6	4,2	34	34,2	1,8	5,3
Брасс	40	37,9	1,6	4,2	30	34,5	1,9	5,4
На спине	30	37,5	1,4	3,6	30	34,8	1,7	4,9
Комплексное	35	37,1	1,3	2,7	30	34,2	1,7	4,9
Гребля								
На байдарках	50	38,1	1,7	4,4	31	36,8	1,8	4,8
Академическая	182	39,5	1,9	4,9	194			
Коньки								
Спринт	42	38,0	1,7	4,5	16	37,1	2,2	6,0
Многоборье	60	37,9	1,9	5,1	50	36,8	1,4	3,9
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Центровые	38	41,2	2,4	5,9	12	39,7	1,7	4,3
Нападающие	63	39,9	1,9	4,7	43	38,6	1,6	4,2
Защитники	75	39,1	1,9	4,9	29	36,3	2,1	5,7
Футбол								
Вратари	38	38,5	1,3	3,3				
Защитники	115	38,6	1,5	4,0				
Полузащитники	88	37,9	1,6	4,2				
Нападающие	85	38,4	1,6	4,2				
Лыжи, двоеборье	40	36,6	1,5	4,2				
Лыжи, горные	27	37,3	1,7	4,5	17	35,6	1,0	2,9
Биатлон	45	37,0	1,9	5,0				
Лыжи, трамплин	39	37,3	3,1	8,4				
Хоккей с мячом	25	37,5	1,8	4,7				
Хоккей с шайбой	64	39,0	2,1	5,5				
Спортивная гимнастика					28	31,0	1,9	6,0
Волейбол	15	39,4	1,3	3,3	28	37,8	2,7	7,2
Регби	28	40,0	2,3	5,6				
Водное поло	28	39,1	2,0	5,1				
Стрельба стендовая					19	35,0	2,0	5,8
Стрельба из лука					19	35,5	2,9	7,9
Сани					11	37,4	1,7	4,5

Абсолютная масса скелетных мышц, кг

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	38,6	4,2	10,9	62	27,4	2,4	8,8
Бег на 400 м	54	36,8	3,2	8,7	32	27,5	3,5	12,6
Бег на 800 м	53	35,0	3,2	9,0	29	25,5	2,8	11,1
Бег на 1500 м	61	33,3	2,9	8,6	24	24,7	2,9	11,6
Бег на 3000 м					13	25,2	3,7	14,7
Бег на 5000 м	41	30,5	2,8	9,2				
Бег на 10000 м	41	30,8	3,0	9,8				
Бег на 100 м с/б					19	29,4	3,9	13,1
Бег на 110 м с/б	23	38,1	4,1	10,4				
Бег на 400 м с/б	21	37,5	4,0	10,8				
Бег на 3000 м с/п	21	33,2	3,3	10,0				
Спортивная ходьба, 20 км	57	34,7	3,6	10,4				
Спортивная ходьба, 50 км	39	35,5	3,5	9,9				
Марафон	131	31,2	3,7	11,7				
Метание диска	40	55,0	5,4	9,9	40	39,9	4,7	11,8
Метание копья	30	46,1	4,6	10,0	24	32,7	2,6	8,1
Метание молота	34	52,1	5,8	11,1				
Толкание ядра	27	55,6	7,4	13,2	25	41,8	4,8	11,5

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	39,8	4,6	11,6	24	28,0	3,2	11,5
Прыжки в высоту	35	40,1	3,9	9,7	28	29,9	3,0	10,0
Прыжки с шестом	24	38,6	3,5	9,1				
Тройной прыжок	23	37,9	4,2	10,3				
Десятиборье	28	47,7	5,7	12,0				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	40,5	4,1	10,1	30	28,2	2,6	9,1
Вольный стиль, 400 м	20	37,9	1,9	5,0	30	27,6	3,0	10,9
Вольный стиль, 800 м					30	26,9	2,9	10,8
Вольный стиль, 1500 м	20	35,4	1,7	4,8				
Дельфин	30	38,7	2,5	6,4	34	28,0	2,9	10,3
Брасс	40	38,7	3,4	8,8	30	29,2	3,7	12,7
На спине	30	37,3	2,8	7,5	30	28,6	2,6	9,1
Комплексное	35	37,9	2,8	7,4	30	27,8	3,0	10,9
Гребля								
На байдарках	50	41,1	3,7	9,1	31	31,0	3,2	10,2
Академическая	182	44,9	3,8	8,4	195	36,0	2,5	6,9
Коньки								
Спринт	42	39,3	4,0	10,1	16	31,8	3,7	11,8
Многоборье	60	39,3	3,7	9,5	50	30,5	2,9	9,5
Баскетбол								
Центровые	38	50,5	5,8	11,4	12	38,9	6,6	16,9
Нападающие	63	46,7	4,0	8,6	43	35,7	3,9	10,9
Защитники	75	43,1	4,1	9,5	29	30,9	3,0	9,7
Футбол								
Вратари	38	40,6	3,1	7,5				
Защитники	115	37,7	3,0	7,9				
Полузащитники	88	36,0	3,0	8,3				
Нападающие	85	36,7	3,0	8,2				
Лыжи, двоеборье	40	35,7	3,0	8,5				
Лыжи, горные	27	38,6	4,0	10,4	17	27,1	2,1	7,9
Биатлон	45	36,4	3,2	8,9				
Лыжи, трамплин	39	34,8	2,9	8,2				
Хоккей с мячом	25	37,1	3,3	8,8				
Хоккей с шайбой	64	42,6	4,5	10,5				
Спортивная гимнастика					28	22,0	2,9	13,3
Волейбол	15	45,1	4,8	10,5	28	32,4	3,9	12,0
Регби	28	42,8	5,5	12,8				
Водное поло	28	43,9	4,4	10,0				
Стрельба стендовая					19	27,9	2,1	7,6
Стрельба из лука					19	26,8	4,2	15,5
Сани					11	31,3	1,2	3,9

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>

Относительная масса скелетных мышц, %

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	52,2	2,6	5,0	62	47,5	2,9	6,2
Бег на 400 м	54	51,9	2,2	4,3	32	47,5	3,3	6,9
Бег на 800 м	53	51,0	2,7	5,3	29	46,5	3,6	7,8
Бег на 1500 м	61	49,7	2,4	4,9	24	45,6	2,3	5,1
Бег на 3000 м					13	48,4	3,8	7,9
Бег на 5000 м	41	48,2	2,1	4,4				
Бег на 10000 м	41	48,9	2,6	5,2				
Бег на 100 м с/б					19	48,0	3,1	6,5
Бег на 110 м с/б	23	50,6	2,3	4,6				
Бег на 400 м с/б	21	50,9	2,4	4,6				
Бег на 3000 м с/п	21	49,0	2,5	5,0				
Спортивная ходьба, 20 км	57	50,2	2,7	5,4				
Спортивная ходьба, 50 км	39	51,2	2,8	5,3				
Марафон	131	48,9	3,7	7,6				
Метание диска	40	50,5	3,7	7,2	40	47,4	4,1	8,7
Метание копья	30	52,1	3,3	6,2	24	47,5	3,7	7,8
Метание молота	34	49,7	3,1	6,2				
Толкание ядра	27	49,8	3,5	7,1	25	46,1	4,5	9,7
Прыжки в длину	29	52,9	3,0	5,7	24	47,0	3,3	7,1
Прыжки в высоту	35	52,4	2,6	4,9	28	46,7	3,6	7,7
Прыжки с шестом	24	50,7	3,3	6,5				
Тройной прыжок	23	50,7	2,6	5,0				
Десятиборье	28	54,0	2,9	5,4				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	53,5	4,4	8,2	30	46,0	2,8	6,1
Вольный стиль, 400 м	20	56,2	4,7	8,4	30	47,5	2,8	5,9
Вольный стиль, 800 м					30	46,3	2,4	5,2
Вольный стиль, 1500 м	20	54,3	4,9	9,0				
Дельфин	30	53,5	2,7	5,0	34	46,7	3,4	7,3
Брасс	40	50,2	4,4	8,8	30	49,2	4,9	9,9
На спине	30	53,2	4,3	8,1	30	47,6	2,5	5,2
Комплексное	35	51,9	5,1	9,8	30	47,0	4,4	9,4
Гребля								
На байдарках	50	50,1	2,4	4,8	31	46,8	2,9	6,1
Академическая	182	51,3	2,5	5,0	195	47,7	2,8	5,8
Коньки								
Спринт	42	51,8	2,3	4,5	16	48,2	2,7	5,6
Многоборье	60	51,5	1,8	3,6	50	47,8	2,2	4,6
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Центровые	38	50,3	3,7	7,3	12	45,1	2,9	6,4
Нападающие	63	50,9	2,9	5,6	43	46,7	2,9	6,3
Защитники	75	51,8	2,7	5,3	29	46,5	2,7	5,7
Футбол								
Вратари	38	51,4	3,1	5,9				
Защитники	115	50,9	2,2	4,3				
Полузащитники	88	50,2	2,6	5,1				
Нападающие	85	50,6	2,0	3,9				
Лыжи, двоеборье	40	51,6	2,1	4,1				
Лыжи, горные	27	51,5	1,6	3,0	17	47,2	2,3	4,8
Биатлон	45	50,6	1,9	3,7				
Лыжи, трамплин	39	51,5	2,4	4,7				
Хоккей с мячом	25	49,7	1,8	3,7				
Хоккей с шайбой	64	51,9	2,3	4,4				
Спортивная гимнастика					28	49,4	2,1	4,3
Волейбол	15	51,7	2,2	4,2	28	48,0	3,5	7,2
Регби	28	49,5	3,0	6,1				
Водное поло	28	49,5	3,0	6,0				
Стрельба стендовая					19	45,6	3,8	8,4
Стрельба из лука					19	45,1	1,5	3,4
Сани					11	45,9	2,9	6,3

Абсолютная масса жировых тканей, кг

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	7,5	1,6	21,0	62	9,9	2,4	23,9
Бег на 400 м	54	6,8	1,4	20,0	32	9,2	2,5	27,5
Бег на 800 м	53	6,5	1,3	19,6	29	8,8	2,9	33,2
Бег на 1500 м	61	6,1	1,6	26,1	24	8,7	2,1	24,3
Бег на 3000 м					13	8,0	1,8	22,5
Бег на 5000 м	41	5,9	1,0	17,7				
Бег на 10000 м	41	5,8	1,4	23,4				
Бег на 100 м с/б					19	9,4	2,5	22,7
Бег на 110 м с/б	23	8,2	2,1	26,0				
Бег на 400 м с/б	21	7,5	1,5	19,8				
Бег на 3000 м с/п	21	9,5	1,7	18,1				
Спортивная ходьба, 20 км	57	7,7	1,7	22,6				
Спортивная ходьба, 50 км	39	7,13	1,7	23,4				
Марафон	131	6,7	1,6	24,3				
Метание диска	40	19,3	7,6	39,6	40	19,9	7,0	34,9
Метание копья	30	11,6	3,5	30,5	24	14,1	3,8	27,3
Метание молота	34	19,4	6,6	34,1				
Толкание ядра	27	21,9	8,3	37,8	25	21,8	4,9	22,6

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	7,4	1,5	20,9	24	11,2	3,6	32,3
Прыжки в высоту	35	7,5	1,6	21,5	28	10,8	2,9	26,9
Прыжки с шестом	24	7,9	1,6	20,3				
Тройной прыжок	23	7,3	1,7	23,7				
Десятиборье	28	8,6	2,4	27,4				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	7,4	1,4	18,9	30	11,8	3,0	25,3
Вольный стиль, 400 м	20	6,7	0,8	11,2	30	11,6	2,5	21,6
Вольный стиль, 800 м					30	11,7	2,1	17,7
Вольный стиль, 1500 м	20	6,1	0,6	10,1				
Дельфин	30	7,5	1,3	17,3	34	11,7	2,5	21,0
Брасс	40	7,2	1,2	16,6	30	12,5	3,2	25,8
На спине	30	6,1	0,7	11,9	30	12,4	2,5	20,1
Комплексное	35	6,6	0,6	8,4	30	11,3	2,6	22,9
Гребля								
На байдарках	50	9,0	2,3	25,8	31	12,5	3,1	24,5
Академическая	182	10,8	3,2	29,8	194	15,7	3,9	24,8
Коньки								
Спринт	42	8,5	2,6	31,0	16	12,1	4,5	37,3
Многоборье	60	8,2	2,0	24,2	50	11,6	2,4	20,6
Баскетбол								
Центровые	38	13,7	5,6	40,8	12	20,4	4,0	19,7
Нападающие	63	11,5	2,6	22,5	43	16,0	4,6	28,6
Защитники	75	10,5	2,4	23,2	29	13,1	3,3	24,8
Футбол								
Вратари	38	8,2	2,0	24,3				
Защитники	115	7,6	1,8	23,2				
Полузащитники	88	7,4	1,5	20,8				
Нападающие	85	7,5	1,5	20,4				
Лыжи, двоеборье	40	7,1	1,9	26,3				
Лыжи, горные	27	7,9	2,1	26,0	17	10,7	0,9	8,2
Биатлон	45	7,5	2,1	27,7				
Лыжи, трамплин	39	7,3	1,4	19,0				
Хоккей с мячом	25	8,1	1,6	19,9				
Хоккей с шайбой	64	11,1	3,8	33,9				
Спортивная гимнастика					28	5,6	2,0	3,5
Волейбол	15	9,6	2,3	23,6	28	13,1	2,4	18,5
Регби	28	12,9	6,1	47,1				
Водное поло	28	13,1	3,4	26,0				
Стрельба стендовая					19	14,1	4,1	28,9
Стрельба из лука					19	12,8	5,2	40,8
Сани					11	17,9	5,4	29,9

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>

Относительная масса жировых тканей, %

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	10,2	2,1	10,2	62	17,1	3,3	19,3
Бег на 400 м	54	9,6	1,7	18,0	32	15,8	3,5	22,2
Бег на 800 м	53	9,4	1,6	16,7	29	15,9	4,6	28,9
Бег на 1500 м	61	9,1	2,3	24,6	24	16,1	3,6	22,1
Бег на 3000 м					13	15,4	3,5	22,8
Бег на 5000 м	41	9,3	1,6	17,6				
Бег на 10000 м	41	9,2	1,9	20,3				
Бег на 100 м с/б					19	15,5	3,4	22,2
Бег на 110 м с/б	23	10,9	2,6	24,3				
Бег на 400 м с/б	21	10,3	2,1	19,1				
Бег на 3000 м с/п	21	9,7	2,2	22,3				
Спортивная ходьба, 20 км	57	11,1	2,5	22,3				
Спортивная ходьба, 50 км	39	10,5	2,4	23,1				
Марафон	131	10,5	2,4	22,6				
Метание диска	40	17,3	5,6	32,4	40	23,3	6,8	29,1
Метание копья	30	13,0	3,6	27,5	24	20,2	4,7	23,0
Метание молота	34	18,1	5,2	28,8				
Толкание ядра	27	19,2	5,9	30,9	25	23,9	4,0	16,5
Прыжки в длину	29	10,0	1,9	24	18,2	5,2	28,4	
Прыжки в высоту	35	9,8	1,9	19,8	28	16,9	4,2	24,6
Прыжки с шестом	24	10,4	2,1	20,0				
Тройной прыжок	23	9,8	2,4	24,2				
Десятиборье	28	9,8	2,4	24,1				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	9,8	1,4	14,3	30	19,1	3,8	19,8
Вольный стиль, 400 м	20	9,9	0,6	6,4	30	19,8	3,5	17,4
Вольный стиль, 800 м					30	19,5	3,5	17,9
Вольный стиль, 1500 м	20	9,3	0,9	10,0				
Дельфин	30	10,4	1,3	12,5	34	19,9	2,5	12,7
Брасс	40	9,4	1,2	12,8	30	21,0	4,7	22,3
На спине	30	8,7	1,1	12,6	30	20,5	3,5	16,9
Комплексное	35	9,0	0,8	8,7	30	19,2	3,7	19,1
Гребля								
На байдарках	50	10,8	2,5	22,8	31	18,9	4,5	23,7
Академическая	182	12,2	3,1	25,4	195	20,8	4,9	23,7
Коньки								
Спринт	42	11,2	3,3	28,9	16	18,0	4,5	24,8
Многоборье	60	10,7	2,2	20,1	50	18,1	2,9	16,3
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>
Центровые	38	13,7	5,8	40,8	12	23,8	4,2	17,6
Нападающие	63	12,4	2,6	21,0	43	20,8	5,1	24,6
Защитники	75	12,4	2,8	22,5	29	19,7	4,2	21,2
Футбол								
Вратари	38	10,4	2,2	21,5				
Защитники	115	10,2	2,1	20,7				
Полузащитники	88	10,28	2,0	19,2				
Нападающие								
Лыжи, двоеборье	40	10,0	2,6	25,5				
Лыжи, горные	27	10,9	2,1	19,1	17	18,6	3,1	16,5
Биатлон	45	10,3	2,4	23,2				
Лыжи, трамплин	39	10,7	1,7	15,4				
Хоккей с мячом	25	10,8	1,7	16,0				
Хоккей с шайбой	64	13,2	3,5	26,6				
Спортивная гимнастика					28	12,1	3,9	32,6
Волейбол	15	11,0	2,5	22,8	28	18,5	2,9	15,8
Регби	28	14,6	5,0	34,0				
Водное поло	28	14,7	3,1	21,3				
Стрельба стендовая					19	21,3	6,5	30,3
Стрельба из лука					19	21,3	6,5	30,3
Сани					11	25,9	5,2	20,1

Абсолютная масса скелета, кг

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	11,6	1,3	11,5	62	8,4	0,9	10,6
Бег на 400 м	54	11,6	1,0	8,5	32	8,8	0,9	10,1
Бег на 800 м	53	11,3	1,0	8,5	29	8,4	1,0	11,8
Бег на 1500 м	61	11,0	1,2	10,9	24	8,3	0,9	10,4
Бег на 3000 м					13	8,2	1,2	14,2
Бег на 5000 м	41	10,3	1,1	10,7				
Бег на 10000 м	41	10,2	1,1	10,3				
Бег на 100 м с/б					19	8,6	0,7	8,4
Бег на 110 м с/б	23	11,9	1,8	15,3				
Бег на 400 м с/б	21	12,0	1,8	14,8				
Бег на 3000 м с/п	21	11,1	1,4	12,6				
Спортивная ходьба, 20 км	57	11,8	1,3	11,0				
Спортивная ходьба, 50 км	39	11,8	1,3	11,1				
Марафон	131	11,1	1,2	11,1				
Метание диска	40	15,4	2,2	14,3	40	11,1	1,1	10,2
Метание копья	30	13,2	1,6	12,3	24	9,9	1,0	9,8
Метание молота	34	14,3	1,3	9,1				
Толкание ядра	27	15,8	1,8	11,3	25	11,5	1,2	10,2

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Прыжки в длину	29	12,4	1,5	12,1	24	8,6	1,1	12,4
Прыжки в высоту	35	13,0	1,1	9,3	28	9,5	0,9	9,1
Прыжки с шестом	24	12,2	1,2	9,4				
Тройной прыжок	23	12,5	2,1	16,7				
Десятиборье	28	14,0	4,1	29,3				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	14,5	2,2	15,2	30	9,9	0,8	7,8
Вольный стиль, 400 м	20	13,0	1,7	13,1	30	9,3	0,9	9,2
Вольный стиль, 800 м					30	9,4	0,9	9,7
Вольный стиль, 1500 м	20	12,3	1,1	8,9				
Дельфин	30	13,6	1,6	11,8	34	9,2	0,9	9,6
Брасс	40	13,6	1,6	11,8	30	9,7	0,7	7,4
На спине	30	13,2	1,5	11,4	30	9,7	0,7	7,7
Комплексное	35	12,8	1,2	9,4	30	9,5	1,0	10,9
Гребля								
На байдарках	50	13,0	1,2	9,4	31	9,7	1,0	9,8
Академическая	182	14,1	1,2	8,6	195	10,5	0,9	8,2
Коньки								
Спринт	42	11,9	1,2	10,3	16	9,4	1,0	10,1
Многоборье	60	12,1	1,6	12,8	50	9,5	0,8	7,9
Баскетбол								
Центровые	38	18,1	2,4	13,3	12	13,0	2,4	18,8
Нападающие	63	16,2	1,3	8,2	43	11,3	1,0	8,7
Защитники	75	14,3	1,2	8,5	29	9,6	0,8	8,5
Футбол								
Вратари	38	12,7	0,9	7,2				
Защитники	115	11,8	1,0	8,7				
Полузащитники	88	11,3	0,9	8,0				
Нападающие	85	11,3	1,0	8,9				
Лыжи, двоеборье	40	11,1	1,0	8,7				
Лыжи, горные	27	12,2	1,1	8,8	17	8,5	0,5	5,4
Биатлон	45	11,7	1,1	9,3				
Лыжи, трамплин	39	11,4	1,3	11,7				
Хоккей с мячом	25	11,2	1,1	9,7				
Хоккей с шайбой	64	12,7	1,2	9,7				
Спортивная гимнастика					28	7,6	1,0	13,7
Волейбол	15	13,5	1,5	10,9	28	9,7	1,6	16,4
Регби	28	12,8	1,4	11,1				
Водное поло	28	14,4	1,4	9,8				
Стрельба стендовая					19	8,5	1,2	14,6
Стрельба из лука					19	8,3	1,0	11,8
Сани					11	9,4	0,9	1,0

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>	<i>n</i>	\bar{x}	σ	<i>v</i>

Относительная масса скелета, %

Лёгкая атлетика								
Бег на 100 м	53	15,7	1,2	7,3	62	14,5	1,1	7,8
Бег на 400 м	54	16,4	1,2	7,5	32	15,3	1,4	9,4
Бег на 800 м	53	16,4	1,4	8,3	29	15,4	1,5	9,5
Бег на 1500 м	61	16,5	1,2	7,4	24	15,3	1,5	9,5
Бег на 3000 м					13	15,8	1,3	8,3
Бег на 5000 м	41	16,2	1,4	8,8				
Бег на 10000 м	41	16,2	1,3	7,7				
Бег на 100 м с/б					19	14,3	1,3	8,9
Бег на 110 м с/б	23	15,4	1,7	10,8				
Бег на 400 м с/б	21	16,3	1,8	10,9				
Бег на 3000 м с/п	21	16,4	1,2	7,1				
Спортивная ходьба, 20 км	57	17,1	1,3	7,8				
Спортивная ходьба, 50 км	39	17,1	1,6	9,1				
Марафон	131	17,3	1,0	6,0				
Метание диска	40	14,1	1,9	13,3	40	13,3	2,2	16,0
Метание копья	30	14,9	1,4	9,5	24	14,3	1,2	8,4
Метание молота	34	13,7	1,7	12,3				
Толкание ядра	27	13,8	1,4	10,0	25	12,9	1,6	12,3
Прыжки в длину	29	16,6	1,5	9,3	24	14,7	1,4	9,4
Прыжки в высоту	35	17,0	1,3	7,6	28	14,8	1,1	7,7
Прыжки с шестом	24	16,0	1,4	8,7				
Тройной прыжок	23	16,8	2,1	12,7				
Десятиборье	28	15,3	1,2	8,1				
Плавание								
Вольный стиль, 100 м	40	19,2	3,0	15,6	30	16,2	1,0	6,0
Вольный стиль, 400 м	20	19,2	2,9	15,1	30	16,1	1,1	7,0
Вольный стиль, 800 м					30	16,2	1,1	6,6
Вольный стиль, 1500 м	20	18,9	2,3	12,2				
Дельфин	30	18,7	1,8	9,6	34	15,6	1,2	7,6
Брасс	40	17,6	2,5	14,2	30	16,4	1,5	9,0
На спине	30	18,8	2,0	10,6	30	16,1	1,2	7,2
Комплексное	35	17,5	2,5	14,3	30	16,3	1,8	10,8
Гребля								
На байдарках	50	15,9	1,4	8,6	31	14,7	1,0	6,8
Академическая	182	16,1	1,3	8,2	195	14,7	1,1	7,5
Коньки								
Спринт	42	15,7	1,1	7,3	16	14,4	1,3	8,7
Многоборье	60	15,9	1,4	8,4	50	14,9	1,0	6,9
Баскетбол								

Спортивная специализация	Мужчины				Женщины			
	n	\bar{x}	σ	v	n	\bar{x}	σ	v
Центровые	38	18,0	1,8	10,1	12	15,0	1,5	2,7
Нападающие	63	17,6	1,3	7,2	43	14,7	1,1	7,5
Защитники	75	17,1	1,2	6,7	29	14,5	1,2	8,3
Футбол								
Вратари	38	16,1	1,0	6,0				
Защитники	115	16,0	0,8	4,8				
Полузащитники	88	15,8	1,0	6,3				
Нападающие	85	15,6	0,9	6,0				
Лыжи, двоеборье	40	16,1	1,0	6,3				
Лыжи, горные	27	16,8	1,5	9,2	17	15,0	1,1	7,6
Биатлон	45	16,2	1,1	6,7				
Лыжи, трамплин	39	16,8	2,1	12,4				
Хоккей с мячом	25	15,0	1,1	7,0				
Хоккей с шайбой	64	15,5	1,2	7,8				
Спортивная гимнастика					28	71,2	1,3	7,5
Волейбол	15	15,6	1,4	8,8	28	14,0	1,7	12,1
Регби	28	15,1	1,1	7,2				
Водное поло	28	16,1	0,9	5,3				
Стрельба стендовая					19	13,9	1,0	7,3
Стрельба из лука					19	14,1	1,5	10,3
Сани					11	13,7	1,4	10,2

Приложение 3. Состав тела условного человека⁴

Показатель, единица измерения	Пол	
	Мужской	Женский
Антропометрические данные		
Масса тела, кг		
Новорождённый	3,5	3,5
1 год	10	10
5 лет	19	19
10 лет	32	32
15 лет	56	53
Взрослый человек	73	60
Длина тела, см		
Новорождённый	51	51
1 год	76	76
5 лет	109	109
10 лет	138	138
15 лет	167	161
Взрослый человек	176	163
Площадь поверхности тела, м ²		
Новорождённый	0,24	0,24
1 год	0,48	0,48
5 лет	0,78	0,78
10 лет	1,12	1,12
15 лет	1,62	1,55
Взрослый человек	1,90	1,66
Плотность тела, г/мл	1,07	1,04
Двухкомпонентная модель состава тела		
Тощая масса тела, %МТ		
Взрослый человек	82	72

⁴ Данные взяты из работ “Человек: Медико-биологические данные” (Публикация № 23 Международной комиссии по радиологической защите). М.: Медицина, 1977 (пер. с англ.), а также *Valentin J.* Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89 // Annals of the ICRP. 2002. V. 32, № 3–4. P. 1–277.

Показатель, единица измерения	Пол	
	Мужской	Женский
Пожилой человек	72	58
Жир тела (за исключением структурных липидов), кг		
Новорождённый	0,37	0,37
1 год	2,3	2,3
5 лет	3,6	3,6
10 лет	6,0	6,0
15 лет	9,0	14,0
Взрослый человек	14,6	18,0

Многокомпонентная модель состава тела

1. Элементный уровень

Содержание некоторых химических элементов, кг		
Кислород (O)	44,5	36,6
Углерод (C)	16,8	13,8
Водород (H)	7,3	6,0
Азот (N)	1,9	1,6
Кальций (Ca)	1,0	0,8
Фосфор (P)	0,8	0,7
Сера (S)	0,15	0,12
Калий (K)	0,15	0,12
Натрий (Na)	0,10	0,08
Хлор (Cl)	0,09	0,07
Магний (Mg)	0,02	0,016
Кремний (Si)	0,02	0,016

2. Молекулярный уровень

Вода, кг	43,8	30
Липиды, кг	13,9	16,5
Белки, кг	11,1	
Минеральные вещества, кг	3,9	
Углеводы, кг	0,44	
Вода, %ТМТ	73	73
Структурные липиды, %ТМТ	2	2

3. Клеточный уровень

Клеточная масса тела, %МТ	42,9	
---------------------------	------	--

Показатель, единица измерения	Пол	
	Мужской	Женский
Общая жидкость, мл/кг МТ	600	500
Внеклеточная жидкость, мл/кг МТ	260	200
Клеточная жидкость, мл/кг МТ	340	300

4. Тканевой уровень

Масса скелетных мышц, кг		
Новорождённый	0,80	0,80
1 год	1,90	1,90
5 лет	5,60	5,60
10 лет	11,0	11,0
15 лет	24,0	17,0
Взрослый человек	29,0	17,5
Масса жировой ткани, кг		
Новорождённый	0,93	0,93
1 год	3,80	3,80
5 лет	5,50	5,50
10 лет	8,60	8,60
15 лет	12,0	18,7
Взрослый человек	18,2	22,5
Масса скелета, кг		
Новорождённый	0,37	0,37
1 год	1,17	1,17
5 лет	2,43	2,43
10 лет	4,50	4,50
15 лет	7,95	7,18
Взрослый человек	10,5	7,80
Плотность скелета, г/мл	1,3	1,3
Масса костной ткани, кг		
Новорождённый	0,17	0,17
1 год	0,59	0,59
5 лет	1,26	1,26
10 лет	2,30	2,30
15 лет	4,05	3,70
Взрослый человек	5,50	4,00
Общий объём крови, л		
Новорождённый	0,27	0,27
1 год	0,5	0,5
5 лет	1,4	1,4
10 лет	2,4	2,4

Показатель, единица измерения	Пол	
	Мужской	Женский
15 лет	4,5	3,3
Взрослый человек	5,3	3,9
Масса кожи, кг		
Новорождённый	0,18	0,18
1 год	0,35	0,35
5 лет	0,57	0,57
10 лет	0,82	0,82
15 лет	2,00	1,70
Взрослый человек	3,30	2,30
Плотность кожи, г/мл	1,1	1,1
Масса печени, кг		
Новорождённый	0,13	0,13
1 год	0,33	0,33
5 лет	0,57	0,57
10 лет	0,83	0,83
15 лет	1,30	1,30
Взрослый человек	1,80	1,40
Масса мозга, кг		
Новорождённый	0,38	0,38
1 год	0,95	0,95
5 лет	1,31	1,18
10 лет	1,40	1,22
15 лет	1,42	1,30
Взрослый человек	1,45	1,30
Масса лимфатических узлов, кг	0,73	0,60
Масса сердца, кг		
Новорождённый	0,02	0,02
1 год	0,05	0,05
5 лет	0,09	0,09
10 лет	0,14	0,14
15 лет	0,23	0,22
Взрослый человек	0,33	0,25
Масса почек, кг		
Новорождённый	0,03	0,03
1 год	0,07	0,07
5 лет	0,11	0,11
10 лет	0,18	0,18
15 лет	0,25	0,24
Взрослый человек	0,31	0,28

Приложение 4. Формулы для определения состава тела на основе антропометрии, калиперометрии и биоимпедансного анализа

Пол	Возраст, лет	Авторы	Формула в тексте на стр.	Эталонный метод
<i>МЖТ, нормальная популяция</i>				
м, ж		Matiegka, 1921	71	Анатомические данные
<i>%ЖМТ, нормальная популяция</i>				
м, ж	8–16	Slaughter et al., 1988	69, 70	ГД
м, ж	4–11	Dezenberg et al., 1999	70	ГД
м	18–61	Jackson, Pollock, 1978	69	ГД
ж	18–55	Jackson et al., 1980	68	ГД
м, ж	16–72	Durnin, Womersley, 1974	69	ГД
м, ж	18–61	Durnin, Rahaman, 1967	69	ГД
<i>%ЖМТ, популяция спортсменов</i>				
м	18–61	Jackson, Pollock, 1978	69	ГД
ж	18–29	Jackson et al., 1980	69	ГД
<i>%ЖМТ, при избыточной жировой массе</i>				
м	24–68	Weltman et al., 1987	74	ГД
ж	20–60	Weltman et al., 1988	74	ГД
<i>СММ, нормальная популяция</i>				
м, ж		Matiegka, 1921	75	Анатомические данные
м, ж		Lee et al., 2000	76	МРТ
<i>Формулы для оценки состава тела на основе биоимпедансного анализа</i>				
См. на стр. 111–112				

Приложение 5. Формулы для оценки основного обмена

Формула, единица измерения	Примечание, ссылка
<i>Уровень всего тела</i>	
$13,75 \times \text{MT} + 500,3 \times \text{ДТ} - 6,78 \times \text{Возраст} + 66,5$ [кДж/сут]	Формула для мужчин (Harris, Benedict, 1919)
$9,56 \times \text{MT} + 185,0 \times \text{ДТ} - 4,68 \times \text{Возраст} + 655,1$ [кДж/сут]	Формула для женщин (Harris, Benedict, 1919)
$73,3 \times \text{MT}^{0,74}$ [кДж/сут]	Kleiber, 1932
$0,0732 \times \text{MT} + 2,72$ [МДж/сут]	Юноши, 10–18 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$0,0510 \times \text{MT} + 3,12$ [МДж/сут]	Девушки, 10–18 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$69,4 \times \text{MT} + 322,2 \times \text{ДТ} + 2392$ [кДж/сут]	Юноши, 10–18 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$30,9 \times \text{MT} + 2016,6 \times \text{ДТ} + 907$ [кДж/сут]	Юноши, 10–18 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$0,0640 \times \text{MT} + 2,84$ [МДж/сут]	Мужчины, 18–30 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$0,0615 \times \text{MT} + 2,08$ [МДж/сут]	Женщины, 18–30 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$64,4 \times \text{MT} + 113,0 \times \text{ДТ} + 3000$ [кДж/сут]	Мужчины, 18–30 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
$55,6 \times \text{MT} + 1397,4 \times \text{ДТ} + 146$ [кДж/сут]	Женщины, 18–30 лет (FAO/WHO/UNU, 1985)
<i>Тканевой уровень</i>	
$200 \times (\text{Масса печени}) + 240 \times (\text{Масса мозга}) + 440 \times (\text{Масса сердца}) + 440 \times (\text{Масса почек}) + 13 \times (\text{Масса скелетных мышц}) + 4,5 \times (\text{Масса жировой ткани}) + 12 \times (\text{Масса остальных тканей})$ [кДж/сут]	Здоровые взрослые люди (Gallagher et al., 1998)
$18,8 \times (\text{Масса жировой ткани}) + 54,4 \times (\text{Масса скелетных мышц}) + 9,6 \times (\text{Масса костей}) + 225,9 \times (\text{Масса остатка})$ [кДж/сут]	Elia et al., 1992
$689 \times (\text{Масса мозга}) + 27,5 \times (\text{Масса скелетных мышц}) - 210$ [кДж/сут]	Gallagher et al., 1998
<i>Клеточный уровень</i>	
$21,6 \times \text{БМТ} + 370$ [кДж/сут]	Cunningham, 1991

Приложение 6. Оборудование для определения состава тела

Название прибора	Фирма-производитель	Цена, долл. ⁵	Примечания, ссылки
Калиперы пластиковые			
Простой калипер	Fat Control (США)	10	Механический
Accu-Measure Fitness 2000 Slim Guide	Accu-Measure (США)	20	Механический
	Rosscraft (Канада), Creative Health Products (США)	30	Механический tep2000.com/ Rosscraft.htm www.chponline.com
Калипер Fattrack	Accu-Measure (США)	40	Электронно-механический
Body Caliper	The Caliper Company (США)	60–70	Механический www.bodycaliper.com
Калиперы металлические			
Baseline, Rehab World Калипер Ланге		150	Механический
Skyndex II	Beta Technology (США)	200–240	Механический
Калипер Лафайет	Caldwell Justiss (США)	240	Электронно-механический
	Lafayette Instrument (США)	250–440	Механический
Калипер Харпендена	British Indicators (Великобритания)	270–350	Механический
Калипер Таннера-Уайтхауса	Holtain (Великобритания)	320–340	Механический
Skyndex I	Caldwell Justiss (США)	360–530	Электронно-механический
Оборудование для подводного взвешивания			
Hydrostatic Weighing System	Cranlea (Великобритания)		www.cranlea.co.uk
Hydrostatic Tank	Novel Products (США)	7000	www.novelproducts inc. com

⁵Указана цена у производителя в стране-изготовителе.

Оборудование метода воздушной плетизмографии			
BOD POD	Life Measurement Instruments (США)	35 000	Применяется у взрослых www.bodpod.com
PEA POD	Life Measurement Instruments (США)		Применяется у детей
Биоимпедансные анализаторы одночастотные			
HBF-306	Omron (Япония)	60	Импеданс рук
HBF-302		70	и верхней части
HBF-300M		120	туловища
Tanita-2001	Tanita (Япония)	60	Импеданс ног
Tanita-521		250	и нижней части туловища
Bodystat 1500	Bodystat	750	Импеданс
Bodystat 1500F	(Великобритания)	1700	всего тела www.bodystat.com
Quantum II	RJL Systems	2000	www.rjlsystems.com
BIA-101A	(США)	2500	
Quantum X		2800	
Holtain	Holtain (Великобритания)	2600	
BIA 2000-C	Data Input	2800	www.data-input.de
Nutriguard-S	(Германия)	3400	
Akern 101	Akern (Италия)		www.akern.com
Biodynamics Model 310	Biodynamics Corp. (США)		www.biodyncorp.com
E-Z Comp 1500	Cranlea (Великобритания)		www.cranlea.co.uk
Биоимпедансные анализаторы многочастотные			
ABC-01	НТЦ Медасс (Россия)	3000	6 частот www.medass.ru
DualScan 2005	Bodystat	4000	2 частоты
MultiScan 5000	(Великобритания)		Непрерывный спектр
Nutriguard-M	Data Input (Германия)	4100	3 частоты
SFB3	ImpediMed (Австралия)		Непрерывный спектр
Xitron 4000B	Xitron Technol. (США)	7000–17000	Непр. спектр www.xitron-tech.com

Инфракрасные жиροанализаторы

Futrex-1100	Futrex (США)	100–200	1-частотный
Futrex-5000		3200	2-частотный
Futrex-6100		3550	6-частотный

Ультразвуковые костные денситометры

Sahara	Hologic (США)		Денситометрия пяточной кости
Achilles Plus	Lunar Radiation Corp. (США)		
UBIS-5000	DMS (Франция)	29 000	www.dms.su
CUBA Clinical	Norland (США)	31 000	

Двухэнергетические рентгеновские анализаторы

Lunar DPX-L	Lunar Radiation Corp. (США)		Портативные устройства
Hologic QDR-1000plus	Hologic (США)	19 000	www.hologic.com
Apollo	Norland (США)	43 000	www.norland.com
Challenger	DMS (Франция)	48 000	
DXL Calscan	Lund (Швеция)		ДРА+лазер www.lundltd.ru
Norland XR-46	Norland Medical Systems (США)	80 000	Стационарные устройства
Excell	Norland (США)	93 000	
Lexxos	DMS (Франция)	150 000	

Оборудование для компьютерной томографии

Somatom DRH	Siemens		
Somatom Plus 4	(Германия)		
HiSpeed CT/i	General Electric		
HiSpeed Advantage	(США)		
XCT-2000	Norland (США)		Периферич. КТ

Оборудование для магнитно-резонансной томографии

Signa Advantage	General Electric (США)	225 000	1,5 T
Picker Outlook	Marconi Medical Systems (США)	290 000	
Magnetom Vision	Siemens	410 000	1,0 T
Magnetom 63 SP	(Германия)		
Airis I	Hitachi Medco	610 000	

Список литературы

1. *Абрамова Т.Ф.* Макроморфологические проявления адаптации организма человека к напряжённой мышечной деятельности (на примере гребцов-академистов). Дисс. ... канд. биол. наук. М., 1989. 167 с.
2. *Абрамова Т.Ф., Мартиросов Э.Г.* Мышечная и жировая масса: критерии адаптации к напряжённой мышечной деятельности // Адаптационные изменения организма и возможности применения их признаков для текущей коррекции физических нагрузок. Ч. 1. Вильнюс, 1991.
3. *Абрамова Т.Ф., Мартиросов Э.Г.* Оценка процессов адаптации гребцов-академистов при подготовке в условиях среднегорья // В сб.: Адаптация, физическая культура и спорт. Смоленск: СГИФК, 1988.
4. *Алексеев В.П.* Адаптация и наследственность // Окружающая среда и здоровье человека. М.: Наука, 1979. С. 69–79.
5. *Алексеева Т.И.* Адаптивные процессы в популяциях человека. М.: Изд-во МГУ, 1986. 216 с.
6. *Алексеева Т.И.* Географическая среда и биология человека. М.: Мысль, 1977. 302 с.
7. *Алексеева Т.И., Смирнова Н.С., Павловский О.М.* Прижизненное определение минеральной насыщенности скелета человека с помощью рентгенофотометрии // Вопр. антропол. 1963. Вып. 15.
8. *Альберти Леон Баттиста.* Десять книг о зодчестве: В двух томах. Т. 1. Текст. М.: Академия архитектуры, 1935. 391 с.
9. *Альберти Леон Баттиста.* Десять книг о зодчестве: В двух томах. Т. 2. Материалы и комментарии. М.: Академия архитектуры, 1937. 792 с.
10. *Антонов В.Ф., Черныш А.М., Пасечник В.И., Вознесенский С.А., Козлова Е.К.* Биофизика. М.: Гуманит. изд. центр "Владос", 1999. 288 с.
11. *Аристотель.* Сочинения. В 4-х тт. М.: Мысль, 1976.
12. *Архимед.* Сочинения. М.: Физматгиз, 1962. 639 с.
13. *Ахатов Т.А.* Магнитно-резонансная томография головного мозга при опухолях. М.: Наука, 2003. 330 с.
14. *Байер В.* Биофизика. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962 (пер. с нем.). 432 с.

15. *Балахонова Е.И.* Изменчивость соматических признаков и тканевых компонентов состава тела у девочек разного возраста созревания // *Вопр. антропол.* 1998. Вып. 89. С. 51–68.
16. *Баранов А.А., Кучма В.Р., Ямпольская Ю.А. и др.* Методы исследования физического развития детей и подростков в популяционном мониторинге. М.: Союз педиатров России, 1999. 226 с.
17. *Башкиров П.Н.* Удельный вес тела взрослых мужчин и факторы, определяющие его изменчивость // *Учёные записки МГУ.* 1954. Вып. 166.
18. *Башкиров П.Н.* Учение о физическом развитии человека. М.: Изд-во Московского ун-та, 1962. 340 с.
19. *Башкиров П.Н., Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И., Чтецов В.П.* Строение тела и спорт. М.: Изд-во Московского ун-та, 1968. 236 с.
20. *Белецкий А.Ф.* Основы теории линейных электрических цепей. М.: Связь, 1967. 608 с.
21. *Бербенцова Э.П.* Пособие по пульмонологии. Иммунология, клиника, диагностика и лечение воспалительных вирусных, бактериальных заболеваний верхних дыхательных путей, бронхов, лёгких. М.: Успехи физических наук, 1998. 624 с.
22. *Бессесен Д.Г., Кушнер Р.* Избыточный вес и ожирение: профилактика, диагностика и лечение. М.: Бином, 2004 (пер. с англ.). 240 с.
23. *Блинов Н.Н.* Основы рентгенодиагностической техники. М.: Медицина, 2002. 148 с.
24. *Боголюбов В.М.* Радионуклидная диагностика заболеваний сердца и лёгких. М.: Медицина, 1975.
25. *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.
26. *Бондаренко Н.И., Каплан М.А.* Изучение состава тела здорового человека посредством определения клеточной и внеклеточной массы по калию-40 методом радиометрии всего тела // *Вопр. антропол.* 1978. Вып. 59. С. 48–57.
27. *Брожек И.* Определение компонентов человеческого тела // *Вопр. антропол.* 1960. Вып. 5. С. 31–57.
28. *Брокгауз Ф.А., Эфрон И.А.* Энциклопедический словарь. Т. 24. СПб: Типография Эфрона, 1898. 471 с.
29. *Бунак В.В.* Антропометрия. М.: Учпедгиз, 1941. 368 с.
30. *Бунимович Д.П.* Стационарная установка для гидростатического взвешивания человека // *Вопр. антропол.* 1966. Вып. 24. С. 95–100.
31. *Бурлакова Е.В., Ковальский В.В., Кудряшов Ю.Б., Рубин А.Б. и др.* Борис Николаевич Тарусов. 1900–1977. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 96 с.
32. *Васильев А.В., Хрущева Ю.В., Николаев Д.В., Чедия Е.С., Пушкин С.В., Руднев С.Г., Гаврик М.В.* Биофизические основы и протокол обследования методом одночастотного биоимпедансного анализа состава тела // *Материалы 8-й научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”.* М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2006. С. 62–78.

33. *Васильев А.В., Хрущева Ю.В., Попова Ю.П., Зубенко А.Д., Николаев Д.В., Пушкин С.В., Похис К.А.* Одночастотный метод биоимпедансного анализа состава тела у больных с сердечно-сосудистой патологией — новые методические подходы // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 152–159.
34. *Васьковский В.Е.* Липиды // Соросовский образовательный журнал. 1997. №3. С. 32–37.
35. *Векслер А.Я.* Тканевые компоненты массы тела и их соотношения в динамике пубертатного развития мальчиков // Вопр. антропол. 1988. Вып. 80. С. 62–70.
36. *Вельтищев Ю.Е., Ветров В.П.* Объективные показатели нормального развития и состояния здоровья ребёнка (нормативы детского возраста) // Российский вестник перинатологии и педиатрии (Приложение). М., 2000. 96 с.
37. *Витрувий Поллион, Марк.* Десять книг об архитектуре. М.: УРСС, 2003. 317 с.
38. *Габуния Р.И.* Метод радиометрии всего тела в клинической диагностике. М.: Медицина, 1975.
39. *Гвоздовер М.Д.* Типология женских статуэток костенковской палеолитической культуры // Вопр. антропол. 1985. Вып. 75. С. 27–66.
40. *Година Е.З., Хомякова И.А., Задорожная Л.В., Пурунджан А.Л., Гилларова О.А., Зубарева В.В., Степанова А.В., Фомина Е.И.* Московские дети: основные тенденции роста и развития на рубеже столетий // Вопр. антропол. 2003. Вып. 91. С. 42–60.
41. *Граевская Н.Д., Долматова Т.И.* Спортивная медицина. М.: Советский спорт, 2004. 304 с.
42. *Гримм Г.* Основы конституциональной биологии и антропометрии. М.: Медицина, 1967 (пер. с нем.). 292 с.
43. *Дахнов В.Н.* Промысловая геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1959. 692 с.
44. *Дерябин В.Е., Пурунджан А.Л.* Географические особенности строения тела населения СССР. М.: Изд-во МГУ, 1990. 192 с.
45. *Джемисон Дж.Э., Мак-Фи Р.Х., Пласс Дж.Н., Грубе Р.Г., Ричардс Р.Дж.* Физика и техника инфракрасного излучения. М.: Советское радио, 1965 (пер. с англ.). 642 с.
46. *Джонс К.* Физические проблемы получения изображений с помощью ИК-излучения // Физика визуализации изображений в медицине / Под ред. С. Уэбба. Т. 2. М.: Мир, 1991. С. 232–257.
47. *Добровольская М.В.* Минеральный состав скелета человека: основные химические соединения и микроэлементы (по материалам древних погребений) // Вопр. антропол. 1986. Вып. 77. С. 97–109.
48. *Доскин В.А., Келлер Х., Мураенко Н.М., Тонкова-Ямпольская Р.В.* Морфофункциональные константы детского организма. М.: Медицина, 1997. 288 с.

49. *Дюрер А.* Дневники, письма, трактаты. В 2-х тт. Л.: Искусство, 1957.
50. *Жданова А.Г.* Портативное устройство для гидростатического взвешивания при определении удельного веса тела человека // *Вопр. антропол.* 1962. Вып. 10. С. 85–87.
51. *Замятин Ю.С.* Активационный анализ // *Физическая энциклопедия. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. Т. 1. С. 37–38.*
52. *Зациорский В.М., Индиченко П.Г., Колобов А.В., Никитин А.В.* Стереометрические методы в исследовании телосложения спортсменов // *Теория и практика физической культуры. 1974. № 8. С. 54–57.*
53. *Зациорский В.М., Селуянов В.Н.* Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека и их взаимосвязь с антропометрическими признаками // *Вопр. антропол.* 1979. Вып. 62. С. 91–103.
54. *Иванов Г.Г., Балухев Э.П., Петухов А.Б., Николаев Д.В. и др.* Биоимпедансный метод определения состава тела // *Вестник РУДН, сер. Медицина. 2000. № 3. С. 66–73.*
55. *Иванов Г.Г., Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г., Носков В.Б.* О терминологии биоимпедансного анализа // *Материалы 8-й научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”.* М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2006. С. 147–150.
56. *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.*
57. *Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П.* Радиационная безопасность и защита. Справочник. М.: Медицина, 1996. 336 с.
58. *Капитанов Е.Н., Николаев Д.В. и др.* Устройство для измерения электрического импеданса в частях тела. 2003. Патент РФ № 2242165.
59. *Кетле А.* Социальная физика, Т. 1. 1911 (пер. с фр., изд. 1869 г.).
60. *Кравчук А.С.* Основы компьютерной томографии. М.: Дрофа, 2001. 240 с.
61. *Крючков Ю.Ю., Чернов И.П.* Основы ядерного анализа твёрдого тела. М.: Энергоатомиздат, 1999. 350 с.
62. *Кузнецов Р.А.* Активационный анализ. М.: Атомиздат, 1974 (2-е издание). 343 с.
63. *Кузьмина М.Т., Мальцева Н.Л.* История зарубежного искусства. М.: Изобразительное искусство, 1980. 472 с.
64. *Кукушкин Ю.Н.* Химические элементы в организме человека // *Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 54–58.*
65. *Курочкин С.С., Распутный В.Н.* Дистанционные анализаторы и спектрометры. М.: Энергоатомиздат, 1990. 207 с.
66. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
67. *Ландсберг Г.С. (ред.)* Элементарный учебник физики: Учебное пособие. В 3-х тт.: Т. 2. Электричество и магнетизм. М.: Физматлит, 2001. 480 с.

68. *Леонардо да Винчи*. Анатомия. Записи и рисунки. М.: Наука, 1965. 585 с.
69. *Левченко О.В., Стулин И.Д.* Новый метод диагностики и мониторинга отёка головного мозга // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 391–395.
70. *Левченко О.В., Рябоконт Д.С.* Патенты № 2157601, 2157602 РФ. МПК 7А61В 5/05. Радиоэлектронный блок. Оpubл. 2000. Бюл. № 4.
71. *Литвинов А.В., Ариэль Б.М.* Лауреаты Нобелевской премии в области физиологии и медицины (1975–2000). Смоленск, 2001. 272 с.
72. *Лич М.* Получение ЯМР-изображений с пространственной локализацией // Физика визуализации изображений в медицине. Т. 2. М.: Мир, 1991. С. 105–231.
73. *Лосев А.Ф.* Эстетика Возрождения. Исторический смысл эстетики Возрождения. М.: Мысль, 1998. 752 с.
74. *Лутовинова Н.Ю., Чтецов В.П.* Эмпирическая проверка надёжности некоторых формул прогнозирования жировой массы // Вопр. антропол. 1969. Вып. 31. С. 54–66.
75. *Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И., Чтецов В.П.* Методические проблемы изучения вариаций подкожного жира // Вопр. антропол. 1970. Вып. 36. С. 32–54.
76. *Мартиросов Э.Г.* Методы исследования в спортивной антропологии. М.: ФиС, 1982. 200 с.
77. *Мартиросов Э.Г.* Морфологический статус в экстремальных условиях спортивной деятельности // Итоги науки и техники. Антропология. Т. 1. М.: ВИНТИ, 1985. С. 100–146.
78. *Мартиросов Э.Г.* Морфо-функциональная организация борцов высокой квалификации в связи с силовыми возможностями Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., МГУ, 1968. 16 с.
79. *Мартиросов Э.Г.* Соматический статус и спортивная специализация. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М., 1998а. 86 с.
80. *Мартиросов Э.Г.* Стандарты телосложения высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в основных олимпийских видах спорта // Приложение к дисс. ... д-ра биол. наук. М., 1998б. 98 с.
81. *Мартиросов Э.Г., Абрамова Т.Ф.* Лабильные морфологические показатели как маркеры состояния метаболизма // Пути повышения эффективности медицинского контроля высококвалифицированных спортсменов: Сб. XXIII Всесоюзной конференции по спортивной медицине. М., 1988.
82. *Мартиросов Э.Г., Булгакова Н.Ж., Филимонова И.Е.* Морфологические особенности пловцов, специализирующихся в разных способах плавания и на разных дистанциях // Пробл. спорт. антропол. М., 1977.
83. *Мартиросов Э.Г., Жданова А.Г., Иорданская Ф.А.* Соматотипологические особенности высококвалифицированных конькобежцев в связи с хроническим физическим перенапряжением // Методы контроля в годичном тренировочном цикле подготовки высококвалифицированных спортсменов и вопросы профилактики заболеваний и травм. М.: ФиС, 1984.

84. *Мартыросов Э.Г., Жданова А.Г., Каплан М.А., Лунгу В.М.* Методы контроля состава массы тела у взрослых спортсменов: Методические рекомендации // М.: ВНИИФК, НИИ Медицинской радиологии АМН СССР, 1984. 25 с.
85. *Мартыросов Э.Г., Карпман В.Д., Зозуля С.И.* Физическая работоспособность и морфологические особенности ватерполистов высокой квалификации: Методич. письмо. М.: Госкомспорт СССР, ВНИИФК, 1989. 35 с.
86. *Мартыросов Э.Г., Карпман В.Д., Зозуля С.И.* Физическая работоспособность и морфологические особенности футболистов: Методич. письмо. М.: Госпомспорт СССР, ВНИИФК, 1989. 38 с.
87. *Мартыросов Э.Г., Кочеткова Н.И.* Методы комплексного контроля в подготовке легкоатлетов-многоборцев высокой квалификации: Методич. письмо (раздел 3). М.: Госкомспорт СССР, Управление лёгкой атлетики, 1986.
88. *Мартыросов Э.Г., Николаев Д.В., Пушкин С.В., Романова Т.Ф., Руднев С.Г., Семенов М.М.* Сравнительный анализ состава тела у московских детей 10–16 лет на основе калиперометрии и биоимпедансного анализа // Актуальные проблемы спортивной морфологии и интегративной антропологии: материалы 2-й международной научной конференции. М.: Изд-во Моск. гуманит. ун-та, 2006. С. 148–152.
89. *Мартыросов Э.Г., Репников А.Н.* Исследование максимального потребления кислорода у боксёров различных весовых категорий / Материалы Всесоюзной конференции по вопросам морфологии и биохимии мышечной деятельности. М., 1970.
90. *Мартыросов Э.Г., Руднев С.Г.* Антропометрические методы определения жировой и мышечной массы тела // Проблемы современной антропологии (сборник, посвящённый 70-летию со дня рождения профессора Б. А. Никитюка). М.: Флинта, Наука, 2004. С. 40–62.
91. *Мартыросов Э.Г., Руднев С.Г.* Состав тела человека. Новые технологии и методы // Спорт, медицина и здоровье. 2002. Т. 1, № 3. С. 5–9.
92. *Мартыросов Э.Г., Сергеев Ю.П., Чтецов В.П.* Морфологические особенности марафонцев в связи со спортивными достижениями // Пробл. спорт. морфол., вып. 2. М.: ВНИИФК, 1972.
93. *Мартыросов Э.Г., Скоморохов Е.В., Фармоши И., Варга Ш.* Соматотип ведущих юных футболистов мира // Арх. анат., гистол. эмбриол. 1987. Вып. 8. С. 29–33.
94. *Мартыросов Э.Г., Туманян Г.С.* Морфологические и функциональные особенности борцов в связи со спортивными достижениями // Вопр. антропол. 1974. Вып. 46. С. 33–51.
95. *Мартыросов Э.Г., Чтецов В.П.* Антропология и спорт // Природа. 1976. № 7. С. 20–33.
96. *Маслов И.А., Лукницкий В.А.* Справочник по нейтронному активационному анализу. Л.: Наука, 1971. 312 с.
97. *Медик В.А., Токмачёв В.С., Фишман Б.Б.* Статистика в медицине и биологии. В 2-х тт. М.: Медицина, 2000.
98. *Мишневский В.Г.* К определению удельного веса человека (по вычисленному объёму) // Санитарное дело. 1892. № 1.

99. *Московец О.Н., Николаев Д.В.* Оценка состояния тканей пародонта методом биоимпедансной спектрометрии // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 67–71.
100. Наука и спорт. Сборник обзорных статей / Предисл. В.М. Зациорского и Г.С. Туманяна. М.: Прогресс, 1982 (пер. с англ.). 272 с.
101. *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”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 301–309.
102. *Николаев Д.В., Похис К.А., Цветков А.А., Смирнов А.В.* Способ региональной биоимпедансометрии. 1997. Патент РФ № 2204938.
103. *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”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2004. С. 105–114.
104. *Николаев Д.В., Туйкин С.А., Балуев Э.П.* Способ региональной биоимпедансометрии и устройство для её осуществления. 1996. Патент РФ № 2094013.
105. *Носков В.Б., Николаев Д.В., Туйкин С.А., Кожаринов В.И., Грачёв В.А.* Портативный двухчастотный тетраполярный биоимпедансометр для оценки изменений объёмов водных секторов организма в условиях длительного космического полёта // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 107–112.
106. *Оленева В.А., Тайц Н.С.* Сопоставление измерений жирового слоя калипером и рентгенографическим методом у больных ожирением // Вопр. антропол. 1965. Вып. 21. С. 139–142.
107. *Павловский О.М.* Экологические аспекты герантропологии на примере возрастных изменений скелета кисти // Проблемы современной антропологии (сборник, посвящённый 70-летию со дня рождения профессора Б. А. Никитюка). М.: Флинта, Наука, 2004. С. 63–85.
108. *Палеев Н.Р., Каевицер И.И., Смирнова И.Б.* Импеданс тела как биологический параметр при клинических исследованиях // Кардиология. 1978. № 11. С. 113–117.
109. *Плиний Старший.* Естественное знание: об искусстве. М.: Ладомир, 1994. 939 с.
110. *Ригз Б.Л., Мелтон Л.Дж.* Остеопороз. М.-СПб.: Бином, Невский диалект, 2000. 560 с.
111. *Рожинская Л.Я.* Системный остеопороз. М.: Изд. Мокеев, 2000. 196 с.
112. *Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В.* Лабораторная и инструментальная диагностика заболеваний внутренних органов. М.: Бином, 1999. 622 с.

113. *Рохлин Д.Г.* Рентгеноостеология и рентгеноантропология. Л.-М.: Биомедгиз, 1936.
114. *Рубин А.Б.* Биофизика. Т. 1, 2. М.: Книжный дом “Университет”, 1999.
115. *Селуянов В.Н.* Масс-инерционные характеристики сегментов тела человека и их взаимосвязь с антропометрическими признаками // Дисс. ... канд. биол. наук. М., 1978. 268 с.
116. *Скальный А.В., Орджоникидзе З.Г., Громова О.А.* Макро- и микроэлементы в физической культуре и спорте. М., 2000. 72 с.
117. *Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век, Мир, 2004. 216 с.
118. *Смирнова Н.С.* Опыт анализа общих закономерностей изменчивости состава тела человека (по данным антропометрии и рентгенографии). Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 1966. 15 с.
119. *Смирнова Н.С.* Современное состояние изучения состава тела // Вопр. антропол. 1964. Вып. 16. С. 3–17.
120. *Солодков А.С., Сологуб Е.Б.* Физиология человека: общая, спортивная, возрастная (учебник для высших учебных заведений физической культуры). М.: Терра-Спорт, Олимпия Пресс, 2001. 520 с.
121. *Спицын В.А.* Биохимический полиморфизм человека: антропологические аспекты. М.: Изд-во МГУ, 1985. 214 с.
122. *Стулин И.Д., Царенко С.В., Левченко О.В., Мусин Р.С., Мнушкин А.О., Борисова О.В., Кащеев А.В.* Клиническое использование метода бесконтактной импедансометрии для диагностики и мониторинга отёка головного мозга у пациентов с нарушением мозгового кровообращения // Труды седьмой научно-практической конференции “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М.: Главный клинический госпиталь МВД России, 2005. С. 396–402.
123. *Тарусов Б.Н.* О диэлектрической константе мышцы // Доклады АН СССР. 1934. Т. 3, № 5. С. 353–356.
124. *Тарусов Б.Н.* Способ определения регенеративной способности животных тканей. Авторское свидетельство СССР № 59666 от 03.09.1939.
125. *Тарусов Б.Н.* Сравнительные данные по измерению электропроводности различных тканей // Бюлл. эксп. биол. мед. 1943. Т. 15, № 4–5. С. 44–50.
126. *Тарусов Б.Н.* Электропроводность как метод определения жизнеспособности тканей // Архив биол. наук. 1938. Т. 52, Вып. 2. С. 178–181.
127. *Татонь Я.* Ожирение. Патофизиология, диагностика, лечение. Варшава: Польское медицинское издательство. 1981. 364 с.
128. *Тетельбаум С.И.* О проблеме улучшения изображений, получаемых при помощи оптических и аналоговых устройств // Бюлл. Киевского политехнического ин-та. Т. 21. С. 222.
129. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Тимонов А.А.* Математические задачи компьютерной томографии. М.: Наука, 1987. 158 с.
130. *Туманян Г.С., Мартиросов Э.Г.* Телосложение и спорт. М: ФиС, 1976. 280 с.

131. *Тустановский В.Т.* Генераторы нейтронов и контроль технологических процессов. М.: Атомиздат, 1980. 151 с.
132. *Тустановский В.Т.* Оценка точности и чувствительности активационного анализа. М.: Атомиздат, 1976. 192 с.
133. *Уткина М.И.* Предварительные данные по фракционированию веса тела в некоторых группах спортсменов // *Вопр. антропол.* 1965. Вып. 19. С. 49–66.
134. *Уэбб С. (ред.)* Физика визуализации изображений в медицине. Т. 1, 2. М.: Мир, 1991 (пер. с англ.).
135. *Хадсон Р.* Инфракрасные системы. М.: Мир, 1972 (пер. с англ.). 536 с.
136. *Ханина К.П.* Определение состава тела человека по удельному весу // *Вопр. антропол.* 1962. Вып. 10. С. 77–84.
137. *Хелгасон С.* Преобразование Радона. М.: Мир, 1983. 152 с.
138. *Хмелевский Ю.В., Усатенко О.К.* Основные биохимические константы человека в норме и при патологии. Киев: Здоровье, 1987. 160 с.
139. *Хэкфорд Г.Л.* Инфракрасное излучение. М., Л.: Энергия, 1964 (пер. с англ.). 336 с.
140. Человек: Медико-биологические данные (Публикация №23 Международной комиссии по радиологической защите). М.: Медицина, 1977 (пер. с англ.). 496 с.
141. *Чердынцев В.В.* Распространённость химических элементов. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1956. 360 с.
142. *Чернышёв А.К., Рябоконт Д.С., Ясинский И.М. и др.* Способ диагностики отёка головного мозга и устройство для его осуществления. 1999. Патент РФ № 2136207.
143. *Чикирдин Э.Г.* Лидируют молодые рентгенологические фирмы // *Радиология–Практика.* 2001. № 1. С. 35–36.
144. *Чтецов В.П.* Новые достижения в изучении состава тела человека и животных (по материалам зарубежной печати 1961–1963 гг.) // *Вопр. антропол.* 1965. Вып. 19. С. 125–134.
145. *Чтецов В.П.* Вариации подкожного жира // *Вопр. антропол.* 1968. Вып. 30. С. 38–54.
146. *Чтецов В.П.* Соматические типы и состав тела у мужчин и женщин. Дисс. ... д-ра биол. наук. М., 1978. 310 с.
147. *Чтецов В.П.* Состав тела человека // *Итоги науки и техники. Антропология* 1969. М.: ВИНТИ АН СССР, 1970.
148. *Чтецов В.П., Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И.* Опыт объективной диагностики соматических типов на основе измерительных признаков у мужчин // *Вопр. антропол.* 1978. Вып. 58. С. 3–22.
149. *Чтецов В.П., Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И.* Опыт объективной диагностики соматических типов на основе измерительных признаков у женщин // *Вопр. антропол.* 1979. Вып. 60. С. 3–14.

150. 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.
151. Эмсли Дж. Элементы. М.: Мир, 1993 (пер. с англ.). 256 с.
152. Aboul-Seoud M.A., Aboul-Seoud A.-L. Estimation of body fat from skinfold thickness // Comp. Meth. Progr. Biomed. 2001. V. 65, № 3. P. 201–206.
153. Ackland T.R., Blanksby B.A., Landers G., Smith D. Anthropometric profiles of elite triathletes // J. Sci. Med. Sport. 1998. V. 1, № 1. P. 52–56.
154. Adams J.A. Symposium on human body composition. Ross Medical Publications, 1985.
155. Agertoft L., Pedersen S. Bone mineral density in children with asthma receiving long-term treatment with inhaled budesonide // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 1998. V. 157, № 1. P. 178–183.
156. Akers R., Buskirk E.R. An underwater weighing system utilizing “force cube” transducers // J. Appl. Physiol. 1969. V. 29, № 5. P. 649–652.
157. Allison D.B., Zhu S.K., Plankey M., Faith M.S., Heo M. Differential associations of body mass index and adiposity with all-cause mortality among men in the first and second National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES I and NHANES II) follow-up studies // Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. 2002. V. 26, № 3. P. 410–416.
158. Armellini F., Zamboni M., Harris T., Micciolo R., Bosello O. Sagittal diameter minus subcutaneous thickness. An easy-to-obtain parameter that improves visceral fat prediction // Obesity Res. 1997. V. 5, № 4. P. 315–320.
159. Armstrong L.E., Kenefick R.W., Castellani J.W. et al. Bioimpedance spectroscopy technique: intra-, extracellular, and total body water // Med. Sci. Sports Exerc. 1997. V. 29, № 12. P. 1657–1663.
160. Bakker H.K., Struikenkamp R.S. Biological variability and lean body mass estimates // Hum. Biol. 1977. V. 53. P. 181–225.
161. Barlow S.E., Dietz W.H. Obesity evaluation and treatment: Expert committee recommendations // Pediatrics. 1998. V. 102, № 3. P. E29.
162. Bartoli W.P., Davis J.M., Pate R.P., Ward D.S., Watson P.D. Weekly variability in total body water using $^2\text{H}_2\text{O}$ dilution in college-age males // Med. Sci. Sports Exerc. 1993. V. 25, № 12. P. 1422–1428.
163. 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.
164. Baumgartner R.N. Electrical impedance and total body electrical conductivity // Human Body Composition (Eds. A.F. Roche, S.B. Heymsfield, T.G. Lohman). Champaign: Human Kinetics, 1996. P. 79–107.
165. Baumgartner R.N., Ross R., Heymsfield S.B. Does adipose tissue influence bioelectric impedance in obese men and women? // J. Appl. Physiol. 1998. V. 84, № 1. P. 257–262.
166. Baxter J.P. Problems of nutritional assessment in the acute setting // Proc. Nutr. Soc. 1999. V. 58. P. 39–46.

167. *Behnke A.R., Feen B.G., Welham W.C.* The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942 // *Obes. Res.* 1995. V. 3, № 3. P. 295–300.
168. *Behnke A.R., Wilmore J.H.* Evaluation and regulation of body build and composition. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1974. 236 c.
169. *Bemben M.G., Massey B.H., Bemben D.A., Boileau R.A., Misner J.E.* Age-related patterns in body composition for men aged 20–79 yr // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1995. V. 27, № 2. P. 264–269.
170. *Bennell K.L., Malcolm S.A., Khan K.M., Thomas S.S. et al.* Bone mass and bone turnover in power athletes, endurance athletes, and controls: a 12-month longitudinal study // *Bone.* 1997. V. 20, № 5. P. 477–484.
171. *Best W.R.* An improved caliper for measurement of skinfold thickness // *J. Lab. Clin. Med.* 1954. V. 43, № 6. P. 967–970.
172. *Biaggi R.B., Vollman M.W., Nies M.A., Brenner C.E. et al.* Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 69, № 5. P. 898–903.
173. *Biggs J., Cha K., Horch K.* Electrical resistivity of the upper arm and leg yields good estimates of whole body fat // *Physiol. Meas.* 2001. V. 22, № 1. P. 1–12.
174. Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement // *Am. J. Clin. Nutr.* 1996. V. 64 (Suppl.) P. 524S–532S.
175. *Boesch C., Kreis R.* Observation of intramyocellular lipids by H-magnetic resonance spectroscopy // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V. 904. P. 25.
176. *Boileau R.A.* Utilization of total body electrical conductivity in determining body composition // In: *Designing foods: Animal product options in the marketplace* (Committee on technological options to improve the nutritional activities of animal products, Board on Agriculture, National Research Council). Washington: Natl. Academy Press, 1988. P. 251–257.
177. *Booth R.A., Goddard B.A., Paton A.* Measurement of fat thickness in man: a comparison of ultrasound, Harpenden calipers and electrical conductivity // *Br. J. Nutr.* 1966. V. 20. P. 719–725.
178. *Boulier A., Fricker J., Thomasset A.L., Apfelbaum M.* Fat-free mass estimation by the two-electrode impedance method // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 52. P. 581.
179. *Borkan G.A., Hulth D.E., Gerzof S.G., Robbins A.H.* Comparison of body composition in middle aged and elderly males using computed tomography // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1985. V. 66, № 3. P. 289–296.
180. *Bracco D., Thiébaud D., Chioléro R.L., Landry M., Burckhardt P., Schutz Y.* Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans // *J. Appl. Physiol.* 1996. V. 81, № 6. P. 2580–2587.
181. *Bray G.A., DeLany J.P., Harsha D.W., Voulafova J., Champagne C.C.* Evaluation of body fat in fatter and leaner 10-y-old African American and white children: the Baton Rouge Children's Study // *Obes. Res.* 2001. V. 9. P. 605.

182. *Brenner J.F., Casey V.A., Dwyer J.T., Bailey S.M.* The measurement of body fat distribution using somatotype photographs and computer assisted imaging techniques // *Ann. Hum. Biol.* 1994. V. 21, № 1. P. 23–38.
183. *Brodie D.A., Eston R.G.* Body fat estimations by electrical impedance and infra-red interactance // *Int. J. Sports Med.* 1992. V. 13, № 4. P. 319–325.
184. *Brodie D., Moscrip V., Hutcheon R.* Body composition measurement: A review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods // *Nutrition.* 1998. V. 14, № 3. P. 296–310.
185. *Brook C.G.* Determination of body composition of children from skinfold measurements // *Arch. Dis. Child.* 1971. V. 46, № 246. P. 182–184.
186. *Brozek J. (ed.)* Human body composition: Approaches and applications (Symposia of the Society for the Study of Human Biology, Vol. 7). N.Y.: Pergamon Press, 1965. 311 p.
187. *Brozek J., Behnke A.R., Abbott W.E. et al. (eds.)* Body composition. N.Y.: Ann. N.Y. Acad. Sci. 1963. V. 110. Pts. 1, 2.
188. *Brozek J., Henschel A. (eds.)* Techniques of measuring body composition. Washington: National Academy of Sciences, National Research Council, 1961.
189. *Brozek J., Prokopec M.* Historical note: Early history of the anthropometry of body composition // *Am. J. Hum. Biol.* 2001. V. 13, № 2. P. 157–158.
190. *Bulik C.M., Wade T.D., Heath A.C., Martin N.G., Stunkard A.J., Eaves L.J.* Relating body mass index to figural stimuli: population-based normative data for Caucasians // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 2001. V. 25, № 10. P. 1517–1524.
191. *Bunt J.C., Lohman T.G., Boileau R.A.* Impact of total body water fluctuations on estimation of body fat from body density // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989. V. 21. P. 96–100.
192. *Burkhard-Jagodzinska K., Nazar K., Ladyga M., Starczewska-Czapowska J., Borkowski L.* Resting metabolic rate and thermogenic effect of glucose in trained and untrained girls aged 11–15 years // *Int. J. Sport. Nutr.* 1999. V. 9, № 4. P. 378–90.
193. *Butte N.F., Hopkinson J.M., Wong W.W., Smith E.O., Ellis K.J.* Body composition during the first 2 years of life: An updated reference // *Pediatr. Res.* 2000. V. 47, № 5. P. 578–585.
194. *Buzzell P.R., Chamberlain V.M., Pintauro S.J.* The effectiveness of web-based, multimedia tutorials for teaching methods of human body composition analysis // *Adv. Physiol. Educ.* 2002. V. 26, № 1. P. 21–29.
195. *Buzzell P.R., Pintauro B.S., Pintauro S.J.* Bioelectric impedance analysis: An interactive tutorial. <http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/bia.htm>
196. *Caballero B.* Introduction. Symposium: Obesity in developing countries: biological and ecological factors // *J. Nutr.* 2001. V. 131, № 3. P. 866S–870S.
197. *Calle E.E., Thun M.J., Petrelli J.M., Rodriguez C., Heath C.W.* Body-mass index and mortality in a prospective cohort of U.S. adults // *N. Engl. J. Med.* 1999. V. 341, № 15. P. 1097–1105.
198. *Cameron J.R., Sorenson J.A.* Measurement of bone mineral in vivo: an improved method // *Science.* 1963. V. 162. P. 230–232.

199. *Cheek D.B.* Human growth: body composition, cell growth, energy, and intelligence. Philadelphia: Lea and Febiger, 1968. 781 p.
200. *Chettle D.R., Fremlin J.H.* Techniques of in vivo neutron activation analysis // *Phys. Med. Biol.* 1984. V. 29. P. 1011–1043.
201. *Chumlea W.C., Baumgartner R.N., Roche A.F.* The use of specific resistivity to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance // *Am. J. Clin. Nutr.* 1988. V. 48. P. 7–15.
202. *Chumlea W.C., Baumgartner R.N.* Status of anthropometry and body composition data in elderly subjects // *Am. J. Clin. Nutr.* 1989. V. 50. P. 1158–1166.
203. *Claessens M., Claessens C., Claessens P., Henderieckx J., Claessens J.* Importance of determining the percentage body fat in endurance-trained athletes // *Indian Heart J.* 2000. V. 52, № 3. P. 307–314.
204. *Clarys J.P., Martin A.D., Marfell-Jones M.J., Janssens V., Caboor D., Drinkwater D.T.* Human body composition: a review of adult dissection data // *Am. J. Hum. Biol.* 1999. V. 11. P. 167–174.
205. *Clasey J.L., Kanaley J.A., Wideman L., Heymsfield S.B. et al.* Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women // *J. Appl. Physiol.* 1999. V. 86, № 5. P. 1728–1738.
206. *Cochran W.J., Klish W.J., Wong W.W., Klein P.D.* Total body electrical conductivity used to determine body composition in infants // *Pediatr. Res.* 1986. V. 20, № 6. P. 561–564.
207. *Cochran W.J., Wong W.W., Fiorotto M.L., Sheng H.P. et al.* Total body water estimated by measuring total-body electrical conductivity // *Am. J. Clin. Nutr.* 1988. V. 48, № 4. P. 946–950.
208. *Cohn D.A., Kay T.P., Tatsch R.F., Thies C.F.* Comparison of methods for estimating body fat in normal subjects and cancer patients // *Am. J. Clin. Nutr.* 1981. V. 34. P. 2839–2847.
209. *Cohn S.H., Brennan B.L., Yasumura S., Vartsky D., Vaswani A.N., Ellis K.J.* Evaluation of body composition and nitrogen content of renal patients on chronic dialysis as determined by total body neutron activation // *Am. J. Clin. Nutr.* 1983. V. 38, № 1. P. 52–58.
210. *Cohn S.H., Parr R.M.* Nuclear-based techniques for the in vivo study of human body composition // *Clin. Phys. Physiol. Meas.* 1985. V. 6, № 4. P. 275–301.
211. *Cohn S.H., Vartsky D., Yasumura S., Sawitsky A. et al.* Compartmental body composition based on total body nitrogen, potassium and calcium // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1980. V. 239, № 6. P. 524–530.
212. *Cohn S.H., Vaswani A.N., Yasumura S., Yuen K., Ellis K.J.* Improved models for determination of body fat by in vivo neutron activation // *Am. J. Clin. Nutr.* 1984. V. 40, № 2. P. 255–259.
213. *Cole K.S., Curtis H.J.* // *J. Gen. Physiol.* 1935. V. 22. P. 37.
214. *Cole K.S., Cole R.H.* Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics // *J. Chem. Phys.* 1941. V. 9. P. 341–351.

215. *Cole K.S., Cole R.H.* Dispersion and absorption in dielectrics. II. Direct current characteristics // *J. Chem. Phys.* 1942. V. 10. P. 98–105.
216. *Cole K.S.* Membranes, ions and impulses: A chapter of classical biophysics. Berkeley: University of California Press, 1972. 569 p.
217. *Colliver J.A., Frank S., Frank A.* Similarity of obesity indices in clinical studies of obese adults: a factor analytic study // *Am. J. Clin. Nutr.* 1983. V. 38, № 4. P. 640–647.
218. *Conway J.M., Norris K.H., Bodwell C.E.* A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance // *Am. J. Clin. Nutr.* 1984. V. 40, № 6. P. 1123–1130.
219. *Crapo R.O., Morris A.H., Clayton P.D., Nixon C.R.* Lung volumes in healthy nonsmoking adults // *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* 1982. V. 18, № 3. P. 419–425.
220. *Cunningham J.J.* Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation // *Am. J. Clin. Nutr.* 1991. V. 54. P. 963–969.
221. *Davis P.G., Van Loan M., Holly R.G., Krstich K., Phinney S.D.* Near infrared interactance VS hydrostatic weighing to measure body composition in lean, normal and obese women // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1990. V. 21, № 2. P. S13.
222. *De Bruin N.C., van Velthoven K.A., Stijnen T., Juttman R.E. et al.* Quantitative assessment of infant body fat by anthropometry and total-body electrical conductivity // *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. V. 61, № 2. P. 279–286.
223. *De Lorenzo A.* The Sixth International Symposium “In vivo body composition studies” (Rome, Italy, October 3–5, 2002) // *Acta Diabetol.* 2002. V. 39. P. 131–181.
224. *De Lorenzo A., Andreoli A., Matthie J., Withers P.* Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review // *J. Appl. Physiol.* 1997. V. 82, № 5. P. 1542–1558.
225. *Dempster P., Aitkens S.* A new air displacement method for the determination of human body composition // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1995. V. 27, № 12. P. 1692–1697.
226. *Dequeker J., Pearson J., Reeve J., Henley M. et al.* Dual X-ray absorptiometry — cross-calibration and normative reference ranges for the spine: Results of a European Community concerted action // *Bone.* 1995. V. 17, № 3. P. 247–254.
227. *Despres J.-P., Ross R., Lemieux S.* Imaging techniques applied to the measurement of human body composition / *Human Body Composition* (Eds. A.F. Roche, S.B. Heymsfield, T.G. Lohman). Champaign: Human Kinetics, 1996. P. 149–166.
228. *Deurenberg P., Weststrate J.A., Seidell J.C.* Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas // *Br. J. Nutr.* 1991. V. 65, № 2. P. 105–114.
229. *Deurenberg P., Yap M., Van Staveren W.A.* Body mass index and percent body fat: a meta-analysis among different ethnic groups // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 1998. V. 22. P. 1164–1171.

230. Dewit O., Fuller N.J., Fewtrell M.S., Elia M., Wells J.C.K. Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis // *Arch. Dis. Child.* 2000. V. 82, № 2. P. 159–164.
231. Dezenberg C.V., Nagy T.R., Gower B.A., Johnson R., Goran M.I. Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children // *Int. J. Obes.* 1999. V. 23. P. 253–259.
232. Dietz W.H., Bellizzi M.C. Introduction: the use of body mass index to assess obesity in children // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 70, № 1. P. 123S–125S.
233. Dietz W.H., Robinson T.N. Use of the body mass index as a measure of overweight in children and adolescents // *J. Pediatr.* 1998. V. 132, № 2. P. 191–193.
234. Doupe M.B., Martin A.D., Searle M.S., Kriellaars D.J., Giesbrecht G.G. A new formula for population-based estimation of whole-body muscle mass in males // *Can. J. Appl. Physiol.* 1997. V. 22, № 6. P. 598–608.
235. Du Bois D., Du Bois E.F. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916 // *Nutrition.* 1989. V. 5, № 5. P. 303–311.
236. Dunning M.F., Steele J.M., Bergen E.Y. Measurement of total body chloride // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1951. V. 77. P. 854–858.
237. Durnin J.V.G.A., Rahaman M.M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness // *Br. J. Nutr.* 1967. V. 21, № 3. P. 681–689.
238. Durnin J.V.G.A., Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years // *Br. J. Nutr.* 1974. V. 32, № 1. P. 77–97.
239. Earthman C.P., Matthie J.R., Reid P.M., Harper I.T. et al. A comparison of bioimpedance methods for detection of body cell mass change in HIV infection // *J. Appl. Physiol.* 2000. V. 88, № 3. P. 944–956.
240. Eckerson J., Stout J.R., Evetovich T.K., Housh T.J. et al. Validity of self-assessment techniques for estimating percent fat in men and women // *J. Strength Condit. Res.* 1998. V. 12, № 4. P. 243–247.
241. Edelman I.S., Leibman J. Anatomy of body water and electrolytes // *Am. J. Med.* 1959. V. 171. P. 279–296.
242. Edelman I.S., Olney J.M., James A.H., Brooks L., Moore F.D. Body composition: studies in the human being by the dilution principle // *Science.* 1952. V. 115. P. 447–454.
243. Edington J. Problems of nutritional assessment in the community // *Proc. Nutr. Soc.* 1999. V. 58. P. 47–51.
244. Elia M., Parkinson S.A., Diaz E. Evaluation of near-infrared interactance as a method for predicting body composition // *Eur. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 44, № 2. P. 113–121.
245. Elia M., Ward L.C. New techniques in nutritional assessment: body composition methods // *Proc. Nutr. Soc.* 1999. V. 58. P. 33–38.
246. Ellis K.J. Human body composition: in vivo methods // *Physiol. Rev.* 2000. V. 80, № 2. P. 649–680.

247. *Ellis K.J.* Selected body composition methods can be used in field studies // *J. Nutr.* 2001. V. 131. P. 1589S–1595S.
248. *Ellis K.J., Eastman J.D.* Human body composition: In vivo methods, models and assessment. N.Y.: Plenum Press, 1993.
249. *Ellis K.J., Shypailo R.J., Wong W.W.* Measurement of body water by multifrequency bioelectrical impedance spectroscopy in a multiethnic pediatric population // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 70, № 5. P. 847–853.
250. *Ellis K.J., Wong W.W.* Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with $^2\text{H}_2\text{O}$ and bromine dilution // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, № 3. P. 1056–1062.
251. *Ellis K.J., Yasumura S., Morgan W.D.* Energy and protein nutrition laboratory and instrumentation research laboratory. Beltsville: USDA/ARS. P. 163–170.
252. *Faes T.J.C., van der Meij H.A., de Munck J.C., Heetnaar R.M.* The electric resistivity of human tissues (100Hz–10Mhz): a meta-analysis of review studies // *Physiol. Meas.* 1999. V. 20, № 4. P. R1–R10.
253. *Fidanza F.* Body fat in adult man: semicentenary of fat density and skinfolds // *Acta Diabetol.* 2003. V. 40. P. S242–S245.
254. *Fields D.A., Goran M.I.* Body composition techniques and the four-compartment model in children // *J. Appl. Physiol.* 2000. V. 89, № 2. P. 613–620.
255. *Fields D.A., Goran M.I., McCrory M.A.* Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review // *Am. J. Clin. Nutr.* 2002. V. 75, № 3. P. 453–467.
256. *Fields D.A., Hunter G.R., Goran M.I.* Validation of the BOD POD with hydrostatic weighing: influence of body clothing // *Int. J. Obes.* 2000. V. 24, № 2. P. 200–205.
257. *Forbes G.B.* Body composition: overview // *J. Nutr.* 1999. V. 129. P. 270S–272S.
258. *Forbes G.B.* Human body composition: growth, aging, nutrition, and activity. N.Y.: Springer-Verlag, 1987. 350 p.
259. *Forbes G.B., Gallup J., Hursh J.* Estimation of total body fat from potassium-40 content // *Science.* 1962. V. 133. P. 101–102.
260. *Formica C.A., Nieves J.W., Cosman F., Garrett P., Lindsay R.* Comparative assessment of bone mineral measurements using dual X-ray absorptiometry and peripheral quantitative computed tomography // *Osteoporos. Int.* 1998. V. 8, № 5. P. 460–467.
261. *Fornetti W.C., Pivarnik J.M., Foley J.M., Fiechtner J.J.* Reliability and validity of body composition measures in female athletes // *J. Appl. Physiol.* 1999. V. 87, № 3. P. 1114–1122.
262. *Foster M.A.* Herman Schwann — a scientist and pioneer in biomedical engineering // *Ann. Rev. Biomed. Eng.* 2002. V. 4. P. 1–27. http://repository.upenn.edu/be_papers/52
263. *Foster M.A., Hutchinson J.M.S., Mallard J.R., Fuller M.* Nuclear magnetic resonance pulse sequence and discrimination of high- and low-fat tissues // *Magn. Res. Imaging.* 1984. V. 2. P. 187–192.

264. *Frankenfield D.C., Cooney R.N., Smith J.S., Rowe W.A.* Bioelectrical impedance plethysmographic analysis of body composition in critically injured and healthy subjects // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 69, № 3. P. 426–431.
265. *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.
266. *Fricke H.* A mathematical treatment of the electrical conductivity and capacity of disperse systems. II. The capacity of a suspension of conducting spheroids surrounded by a nonconducting membrane for a current of low frequency // *Phys. Rev.* 1925. V. 26. P. 678–681.
267. *Fricke H., Morse S.* The electric resistance and capacity of blood for frequencies between 800 and 4 million cycles // *J. Gen. Physiol.* 1925. V. 9. P. 153–167.
268. *Fricke H., Morse S.* The electric capacity of tumors of the breast // *J. Cancer Res.* 1926. V. 10. P. 340–376.
269. *Friedl K.E.* Military application of body composition assessment technologies // In: *Emerging technologies for nutrition research* (Eds. S. J. Carlson-Newbery, R. B. Costello). Washington: Natl. Academy Press, 1997. P. 81–126.
270. *Friedl K.E., Westphal K.A., Marchitelli L.J., Patton J.F., Chumlea W.C., Guo S.S.* Evaluation of anthropometric equations to assess body-composition changes in young women // *Am. J. Clin. Nutr.* 2001. V. 73. P. 268–275.
271. *Frühbeck G., Gómez-Ambrosi J., Muruzabal F.J., Burrell M.A.* The adipocyte: a model for integration of endocrine and metabolic signaling in energy metabolism regulation // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2001. V. 280. P. 827–847.
272. *Fuller M.F., Fowler P.A., McNeill G., Foster M.A.* Body composition: the precision and accuracy of new methods and their suitability for longitudinal studies // *Proc. Nutr. Soc.* 1990. V. 49, № 3. P. 423–436.
273. *Fuller N.J., Dewit O., Wells J.C.* The potential of near infra-red interactance for predicting body composition of children // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2001. V. 55, № 11. P. 967–972.
274. *Gallagher D., Heymsfield S.B., Heo M., Jebb S.A., Murgatroyd P.R., Sakamoto Y.* Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index // *Am. J. Clin. Nutr.* 2000. V. 72. P. 694–701.
275. *Gamble J.L. Jr., Robertson J.S., Hannigan C.A.* Chloride, bromide, sodium and sucrose spaces in man // *J. Clin. Invest.* 1953. V. 32. P. 483–487.
276. *Geddes L.A., Baker L.E.* Principles of applied biomedical instrumentation. N.Y.: Wiley, 1975. 616 p.
277. *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.
278. *Ghosh S., Meister D., Cowen S., Hannan W.J., Ferguson A.* Body composition at the bedside // *Eur. J. Gastro. Hepat.* 1997. V. 9, № 8. P. 783–788.

279. *Gnaedinger R.H., Reineke E.P., Pearson A.M. et al.* Determination of body density by air displacement, helium dilution, and underwater weighing // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1963. V. 110. P. 96–108.
280. *Grampp S., Genant H.K., Mathur A., Lang P. et al.* Comparisons of noninvasive bone mineral measurement in assessing age-related loss, fracture discrimination, and diagnostic classification // *J. Bone Miner. Res.* 1997. V. 12, № 5. P. 697–711.
281. *Gudivaka R., Schoeller D.A., Kushner R.F., Bolt J.G.* Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments // *J. Appl. Physiol.* 1999. V. 87, № 3. P. 1087–1096.
282. *Gundlach B.L., Nijkrake H.G.M., Hautvast J.G.* A rapid and simplified plethysmometric method for measuring body volume // *Hum. Biol.* 1980. V. 52, № 1. P. 23–33.
283. *Gundlach B.L., Visscher G.J.W.* The plethysmometric measurement of total body volume // *Hum. Biol.* 1986. V. 58, № 5. P. 783–799.
284. *Guo S.S., Chumlea W.C., Cockram D.B.* Use of statistical methods to estimate body composition // *Am. J. Clin. Nutr.* 1996. V. 64, № 3. P. 428S–435S.
285. *Gutin B., Litaker M., Islam S. et al.* Body-composition measurement in 9–11-year-old children by dual-energy X-ray absorptiometry, skinfold-thickness measurements, and bioimpedance analysis // *Am. J. Clin. Nutr.* 1996. V. 63, № 3. P. 287–292.
286. *Harker W.H.* Method and apparatus for measuring fat content in animal tissue either *in vivo* or in slaughtered and prepared form. U.S. patent № 3735247, May 22, 1973.
287. *Harper E.J.* Changing perspectives on aging and energy requirements: Aging, body weight and body composition in humans, dogs and cats // *J. Nutr.* 1998. V. 128, № 12. P. 2627S–2631S.
288. *Harrison G.G., Buskirk E.R., Lindsay Carter J.L., Johnson F.E. et al.* Skinfold thickness and measurement technique / In: T.G. Lohman, A.F. Roche, R. Martorell (eds.) *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. P. 55–70.
289. *Harsha D.W., Frerichs R.R., Berenson G.S.* Densitometry and anthropometry of blacks and whites // *Hum. Biol.* 1978a. V. 50. P. 261–280.
290. *Harsha D.W., Voors A.W., Berenson G.S.* Racial differences in subcutaneous fat patterns in children aged 7–15 // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1978b. V. 53. P. 333–337.
291. Health Implications of Obesity. NIH Consensus Statement. 1985. V. 5, № 9. P. 1–7.
292. *Hergenroeder A.C., Klish W.J.* Body composition in adolescent athletes // *Pediatr. Clin. North. Am.* 1990. V. 37, № 5. P. 1057–1083.
293. *Hertzberg H.T., Dupertuis C.W., Emanuil J.* Stereophotogrammetry as an anthropometric tool // *Photogrammetry Engineering.* 1957. V. 23. P. 942–947.
294. *Hevesy G., Levi H.* The action of neutrons on the rare earth elements // *Mat.-Fys. Medd.* 1936. V. 14. P. 3.

295. *Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. (eds.)* Human body composition (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. 533 p.
296. *Heymsfield S.B., Olafson R.P., Kutner M.N., Nixon D.W.* A radiographic method of quantifying protein-calorie undernourishment // *Am. J. Clin. Nutr.* 1979. V. 32. P. 693–702.
297. *Heymsfield S.B., Gallagher D., Visser M., Nunez C., Wang Z.M.* Measurement of skeletal muscle: laboratory and epidemiological methods // *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 1995. V. 50. P. 23–29.
298. *Heymsfield S., Ross R., Wang Z., Frager D.* Imaging techniques of body composition: advantages of measurement and new uses // In: *Emerging technologies for nutrition research* (Eds. S.J. Carlson-Newbery, R.B. Costello). Washington: Natl. Academy Press, 1997. P. 127–150.
299. *Heymsfield S.B., Waki M.* Body composition in humans: advances in the development of multicompartment chemical models // *Nutr. Rev.* 1991. V. 49, № 4. P. 97–108.
300. *Heymsfield S.B., Wang Z., Baumgartner R.N., Ross R.* Human body composition: Advances in models and methods // *Annu. Rev. Nutr.* 1997. V. 17. P. 527–558.
301. *Heyward V.H.* ASEP methods recommendation: Body composition assessment // *J. Exerc. Physiol.* online. 2001. V. 4, № 4. P. 1–12.
302. *Heyward V.H.* Evaluation of body composition. Current issues // *Sports Med.* 1996. V. 22, № 3. P. 146–156.
303. *Heyward V.H.* Practical body composition assessment for children, adults, and older adults // *Int. J. Sport. Nutr.* 1998. V. 8, № 3. P. 285–307.
304. *Heyward V.H., Jenkins K.A., Cook K.L. et al.* Validity of single-site and multi-site models for estimating body composition of women using near-infrared interactance // *Am. J. Hum. Biol.* 1992. V. 4, № 5. P. 579–593.
305. *Heyward V.H., Stolarczyk L.M.* Applied body composition assessment. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. 222 p.
306. *Heyward V.H., Wagner D.R.* Applied body composition assessment. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004 (2nd ed.). 280 p.
307. *Higgins P.B., Fields D.A., Hunter G.R., Gower B.A.* Effect of scalp and facial hair on air displacement plethysmography estimates of percentage body fat // *Obes. Res.* 2001. V. 9, № 5. P. 326–330.
308. *Hill D.W.* Energy system contributions in middle-distance running events // *J. Sports Sci.* 1999. V. 17, № 6. P. 477–483.
309. *Hirsch J., Han P.W.* Cellularity of rat adipose tissue: effects of growth, starvation and obesity // *J. Lipid Res.* 1969. V. 10. P. 77–82.
310. *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.
311. *Holder D.S.* Electrical impedance tomography. Bristol, Philadelphia: Institute of Physics Publishers, 2005. 456 p.
312. *Horswill C.A., Geeseman R., Boileau R.A., Williams B.T. et al.* Total-body electrical conductivity (TOBEC): relationship to estimates of muscle mass, fat-free weight, and lean body mass // *Am. J. Clin. Nutr.* 1989. V. 49, № 4. P. 593–598.

313. *Housh T.J., Johnson G.O., Housh D.J. et al.* Validity of skinfold estimates of percent fat in high school female gymnasts // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996. V. 28, № 10. P. 1331–1335.
314. *Houtkooper L.B.* Assessment of body composition in youths and relationship to sport // *Int. J. Sport Nutr.* 1996. V. 6, № 2. P. 146–164.
315. *Israel R.G., Houmard J.A., O'Briens K.F.* Validity of NIR for estimating human body composition // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1990. V. 21, № 2. P. S103.
316. *Jackson A.S., Pollock M.L., Graves J.E., Mahar M.T.* Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition // *J. Appl. Physiol.* 1988. V. 64, № 2. P. 529–354.
317. *Jackson A.S., Pollock M.L.* Generalized equations for predicting body density of men // *Br. J. Nutr.* 1978. V. 40, № 3. P. 497–504.
318. *Jackson A.S., Pollock M.L., Ward A.* Generalized equations for predicting body density of women // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1980. V. 12, № 3. P. 175–182.
319. *James W.D.* 14MeV fast neutron activation analysis in the year 2000 // *Radioanal. Nucl. Chem.* 2000. V. 243, № 1. P. 119–123.
320. *Janssen I., Heymsfield S.B., Baumgartner R.N., Ross R.* Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis // *J. Appl. Physiol.* 2000. V. 89, № 2. P. 465–471.
321. *Janssens V., Thys P., Clarys J.P., Kvis H., Chowdhury B., Zinzen E., Cabri J.* Postmortem limitations of body composition analysis by computed tomography // *Ergon.* 1994. V. 37, № 1. P. 207–216.
322. *Janz K.F., Nielsen D.H., Cassady S.L., Cook J.S. et al.* Cross-validation of the Slaughter skinfold equations for children and adolescents // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993. V. 25, № 9. P. 1070–1076.
323. *Jebb S.A., Elia M.* Techniques for the measurement of body composition. A practical guide // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 1993. V. 17, № 11. P. 611–621.
324. *Jennings G., Bluck L., Wright A., Elia M.* The use of infrared spectrophotometry for measuring body water spaces // *Clin. Chem.* 1999. V. 45, № 7. P. 1077–1081.
325. *Johnson M.S., Nagy T.R.* Animal body composition methods // *Human body composition*, 2nd ed. (Eds. S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z. Wang, S.B. Going). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. P. 141–150.
326. *Jürimäe T., Hills A.P. (eds.)* Body composition assessment in children and adolescents // *Med. Sport Sci.* 2001. V. 44. 182 p.
327. *Kalender W.A., Fischer M.* Quality control and standardization of absorptiometric and computer tomographic measurements of bone mineral density // *Radiat. Protect. Dosimetry.* 1993. V. 49. P. 229–233.
328. *Kamba M., Kimura K., Koda M., Ogawa T.* Proton magnetic resonance spectroscopy for assessment of human body composition // *Am. J. Clin. Nutr.* 2001. V. 73. P. 172–176.
329. *Kanis J.A. et al.* Assessment of risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis // *WHO Technical Reports*. Geneva, 1994. Ser. 843.

330. *Katch F.I., Katch V.L.* Measurement and prediction errors in body composition assessment and the search for the perfect equation // *Res. Quart.* 1980. V. 51, № 1. P. 249–260.
331. *Katch F.I., McArdle W.D.* Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women // *Hum. Biol.* 1973. V. 45, № 3. P. 445–454.
332. *Kato-Maeda M., Bifani P.J., Kreiswirth B.N., Small P.M.* The nature and consequence of genetic variability within *Mycobacterium tuberculosis* // *J. Clin. Invest.* 2001. V. 107, № 5. P. 533–537.
333. *Kehayias J.J.* Evaluation of new pharmaceuticals using in vivo neutron inelastic scattering and neutron activation analysis // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2000. V. 244, № 1. P. 219–224.
334. *Keith N.M., Rowntree L.G., Geraghty J.T.* A method for the determination of plasma and blood volume // *Arch. Int. Med.* 1915. V. 16. P. 547–576.
335. *Kelly T.L., Berger N., Richardson T.L.* DXA body composition: theory and practice // *Appl. Radiat. Isotopes.* 1998. V. 49, № 5–6. P. 511–513.
336. *Kelly T.L., Slovik D.M., Schoenfeld D.A., Neer R.M.* Quantitative digital radiography versus dual absorptiometry of the lumbar spine // *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 1988. V. 67. P. 839–844.
337. *Keshkar A., Hamdy F.C., Wilkinson B., Lee J.A., Smallwood R.* Virtual bladder biopsy by bioimpedance measurements // In: S. Grimnes, O.G. Martinsen, H. Bruvoll (eds.) Proceedings of the XI-th international conference on electrical bioimpedance. June 17–21, 2001. Oslo, Norway, 2001. P. 289–292.
338. *Knight G.S., Beddoe A.H., Streat S.J., Hill G.L.* Body composition of two human cadavers by neutron activation and chemical analysis // *Am. J. Physiol.* 1986. V. 250, № 2. P. E179–E185.
339. *Koester R.S., Hunter G.R., Snyder S., Khaled M.A., Berland L.L.* Estimation of computerized tomography derived abdominal fat distribution // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 1992. V. 16, № 8. P. 543–554.
340. *Kohrt W.M.* Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 84, № 1. P. 372–377.
341. *Kotler D.P., Burastero S., Wang J., Pierson R.N.* Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex and disease // *Am. J. Clin. Nutr.* 1996. V. 64, № 3. P. 489S–497S.
342. *Kotzki P.O., Mariano-Goulart D., Ross M.* Theoretical and experimental limits of triple photon energy absorptiometry in the measurement of bone mineral // *Physics Med. Biol.* 1991. V. 36. P. 429–437.
343. *Kröger H., Vainio P., Nieminen J., Kotaniemi A.* Comparison of different models for interpreting bone mineral density measurements using DXA and MRI technology // *Bone.* 1995. V. 17, № 2. P. 157–159.
344. *Kushner R.F.* Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications // *J. Am. Coll. Nutr.* 1992. V. 11, № 2. P. 199–209.
345. *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.

346. *Lee R.C., Wang Z., Heo M., Ross R., Janssen I., Heymsfield S.B.* Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models // *Am. J. Clin. Nutr.* 2000. V.72. P.796–803.
347. *Liedman B., Henningsson A., Mellström D., Lundell L.* Changes in bone metabolism and body composition after total gastrectomy: Results of a longitudinal study // *Digest. Dis. Sci.* 2000. V.45, №4. P.819–824.
348. *Liedtke R.J.* Principles of bioelectrical impedance analysis. <http://www.rjl-systems.com/research/bia-principles.html>.
349. *Life Measurement Instruments.* BOD POD Operator's Manual. Concord: Life Measurement Instruments, 1995.
350. *Lindholm C., Hagenfeldt K., Ringertz H.* Bone mineral content of young female former gymnasts // *Acta Paediatr.* 1995. V.84, №10. P.1109–1112.
351. *Lockner D.W., Heyward V.H., Baumgartner R.N., Jenkins K.A.* Comparison of air-displacement plethysmography, hydrodensitometry, and dual X-ray absorptiometry for assessing body composition of children 10 to 18 years of age // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V.904. P.72–78.
352. *Lohman T.G.* Advances in Body Composition Assessment. Champaign, IL.: Human Kinetics, 1992. 150 p.
353. *Lohman T.G.* Applicability of body composition techniques and constants for children and youths / *Exercise and Sport Science Reviews* (Ed. K.Pandolf). N.Y.: Macmillan, 1986. P.325–357.
354. *Lohman T.G.* Assessment of body composition in children // *Pediatr. Exerc. Sci.* 1989. V.1. P.19–30.
355. *Lohman T.G.* Preface to body composition assessment: a reevaluation of our past and a look toward the future // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1984. V.16, №6. P.578.
356. *Lohman T.G., Roche A.F., Martorell R. (eds.)* Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988. 177 p.
357. *Lukaski H.* Methods for the assessment of human body composition: traditional and new // *Am. J. Clin. Nutr.* 1987. V.46, №4. P.537–556.
358. *Lukaski H.C., Johnson P.E., Bolonchuk W.W., Lykken G.I.* Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body // *Am. J. Clin. Nutr.* 1985. V.41, №4. P.810–817.
359. *Lukaski H.C., Mendez J., Buskirk E.R., Cohn S.H.* A comparison of methods of assessment of body composition including neutron activation analysis of total body nitrogen // *Metabolism.* 1981. V.30, №8. P.777–782.
360. *MacDougall J.D. et al. (eds.)* Physiological testing of the high-performance athlete, 2nd edn. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991.
361. *Madsen O.R., Jensen J.-E.B., Sorensen O.H.* Validation of a dual-energy X-ray absorptiometer: measurement of bone mass and soft tissue composition // *Eur. J. Appl. Physiol.* 1997. V.75, №6. P.554–558.
362. *Malina R.M., Bouchard C.* Growth, maturation, and physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics, 1991.

363. *Marriott B.M., Grumstrup-Scott J. (eds.)* Body composition and physical performance: applications for military services. Washington: Natl. Academy Press, 1992. 356 p.
364. *Martin A.D., Drinkwater D.T., Clarys J.P., Daniel M., Ross W.D.* Effects of skin thickness and skinfold compressibility on skinfold thickness measurement // *Am. J. Hum. Biol.* 1992. V. 4, № 4. P. 453–460.
365. *Martin A.D., Ross W.D., Drinkwater D.T., Clarys J.P.* Prediction of body fat by skinfold calipers: assumptions and cadaver evidence // *Int. J. Obes.* 1985. V. 9, Suppl. 1. P. 31–39.
366. *Martin de Toro J., Rueda R.C., Martin G.G., Diaz J.F.S., Nunez-Cortes J.M.* Risk by age and sex related with metabolic factors, blood pressure and body mass index (BMI) // *Atherosclerosis.* 1995. V. 115. P. S110.
367. *Martinez E., Bacallao J., Devesa M., Amador M.* Relationship between frame size and fatness in children and adolescents // *Am. J. Hum. Biol.* 1995. V. 7, № 1. P. 1–6.
368. *Matiegka J.* The testing of physical efficiency // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1921. V. 4, № 3. P. 223–230.
369. *Matthie J., Zarowitz B., De Lorenzo A., Andreoli A. et al.* Analytic assessment of the various bioimpedance methods used to estimate body water // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 84, № 5. P. 1801–1816.
370. *Mayhew J.* Biological variation and technical errors in skinfold measurements // *J. Osteopath. Sports Med.* 1990. V. 4, № 2. P. 19–24.
371. *Maynard L.M., Wisemandle W., Roche A.F., Chumlea Wm.C., Guo S.S., Siervogel R.M.* Childhood body composition in relation to body mass index // *Pediatrics.* 2001. V. 107, № 2. P. 344–350.
372. *Mazess R.B., Barden H., Bisek J., Hanson J.* Dual energy X-ray absorptiometry for total body and regional bone-mineral and soft-tissue composition // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 51, № 6. P. 1106–1112.
373. *McAdams E.T., Jossinet J.* Tissue impedance: a historical overview // *Physiol. Meas.* 1995. V. 16, № 3 (Suppl.A). P. A1–A13.
374. *McCrorry M.A., Gomez T.D., Bernauer E.M., Molé P.A.* Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1995. V. 27, № 12. P. 1686–1691.
375. *McCrorry M.A., Molé P.A., Gomez T.D., Dewey K.G., Bernauer E.M.* Body composition by air-displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 84, № 4. P. 1475–1479.
376. *McLean K., Skinner J.* Validity of FUTREX-5000 for body composition determination // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1991. V. 23, № 4. P. S149.
377. Metropolitan Life Insurance Company. Metropolitan height and weight tables // *Stat. Bull. Metrop. Life Found.* 1983. V. 64, № 1. P. 3–9.
378. *Michael G.J., Henderson C.J.* Monte Carlo modeling of an extended DXA technique // *Physics Med. Biol.* 1998. V. 43. P. 2583–2596.
379. *Micozzi M.S., Harris T.M.* Age variations in the relation of body mass indices to estimates of body fat and muscle mass // *Am. J. Phys. Anthropol.* 1990. V. 81, № 3. P. 375–379.

380. Millard-Stafford M.L., Collins M.A., Modlesky C.M., Snow T.K., Roszkopf L.B. Effect of race and resistance training status on the density of fat-free mass and percent fat estimates // *J. Appl. Physiol.* 2001. V. 91. P. 1259–1268.
381. Mitsiopoulos N., Baumgartner R.N., Heymsfield S.B., Lyons W., Ross R. Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, № 1. P. 115–122.
382. Miyatani M., Kanehisa H., Masuo Y., Ito M., Fukunaga T. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance // *J. Appl. Physiol.* 2000. V. 91. P. 386–394.
383. Moore F.D. Determination of total body water and solids with isotopes // *Science.* 1946. V. 104. P. 157–160.
384. 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.
385. Nagano M., Suita S., Yamanouchi T. The validity of bioelectrical impedance phase angle for nutritional assessment in children // *J. Pediatr. Surg.* 2000. V. 35, № 7. P. 1035–1039.
386. Nicander I. Electrical impedance related to experimentally induced changes of human skin and oral mucosa. Stockholm: Repro Print AB, 1998.
387. Norgan N.G. Relative sitting height and the interpretation of the body mass index // *Ann. Hum. Biol.* 1994. V. 21, № 1. P. 79–82.
388. Norton K., Olds T. (eds.) *Anthropometrica: a textbook of body measurement for sports and health courses.* Sydney: University of New South Wales Press, 1996.
389. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography: The electrical resistive measure of the blood pulse volume. Springfield: Thomas, 1959.
390. Nyboer J. Workable volume and flow concepts of bio-segments by electrical impedance plethysmography. 1972. // *Nutrition.* 1991. V. 7, № 6. P. 396–409.
391. ODea J., Abraham S. Should body-mass index be used in young adolescents? // *Lancet.* 1995. V. 345, № 8950. P. 657.
392. Organ L.W., Bradham G.B., Gore D.T., Lozier S.L. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique // *J. Appl. Physiol.* 1994. V. 77. P. 98–112.
393. Ortendahl D.A., Crooks L.E. Directions in magnetic resonance imaging technology // *Med. Progr. Technol.* 1989. V. 18, № 3–4. P. 171–184.
394. Ott M., Lembcke B., Fischer H., Jager R. et al. Early changes of body composition in human immunodeficiency virus-infected patients: tetrapolar body impedance analysis indicates significant malnutrition // *Am. J. Clin. Nutr.* 1993. V. 57, № 1. P. 15–19.
395. Overbeck D., Bohm D. (eds.) *Body composition research techniques and nutritional assessment: Proc. of the Intern. workshop, held in Kaiserslautern, FRG on Aug. 21–22, 1988.* Basel: Karger, 1990. 80 p.
396. Pace N., Rathbun E.N. Studies on body composition. III. The total body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content // *J. Biol. Chem.* 1945. V. 158. P. 685–691.

397. *Pařízková J.* Body fat and physical fitness. The Hague: Martinus Nijhoff, 1977. 279 p.
398. *Pařízková J., Hills A.P. (eds.)* Physical fitness and nutrition during growth: Studies in children and youth in different environments // *Med. Sport Sci.* 1998. V. 43. 168 p.
399. *Piers L.S., Soares M.J., McCormack L.M., ODea K.* Is there evidence for an age-related reduction in metabolic rate? // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, № 6. P. 2196–2204.
400. *Pierson R.N.* A brief history of body composition from F.D.Moore to the new Reference Man // *Acta Diabetol.* 2003. V. 40. P. S114–S116.
401. *Pietrobelli A., Formica C., Wang Z., Heymsfield S.B.* Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1996. V. 271, № 6. P. 941–951.
402. *Pietrobelli A., Wang Z., Formica C., Heymsfield S.B.* Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1998. V. 274, № 5. P. 808–816.
403. *Pintauro S.J.* Human body composition by underwater weighing: An interactive tutorial. <http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/uvw>
404. *Pintauro S.J., Nagy T.R., Duthie S.M., Goran M.I.* Cross-calibration of fat and lean measurements by dual energy X-ray absorptiometry to pig carcass analysis in the pediatric body weight range // *Am. J. Clin. Nutr.* 1996. V. 63, № 3. P. 293–298.
405. *Preedy V., Grimble G., Watson R.* Body composition assessment in children and adolescents. London: Greenwich Medical Media, 2001. 447 p.
406. *Prior B.M., Cureton K.J., Modlesky C.M., Evans E.M. et al.* In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry // *J. Appl. Physiol.* 1997. V. 83, № 2. P. 623–630.
407. *Prior B.M., Modlesky C.M., Evans E.M., Sloniger M.A. et al.* Muscularity and the density of fat-free mass in athletes // *J. Appl. Physiol.* 2001. V. 90. P. 1523–1531.
408. *Quetelet L.A.J.* Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou essai de physique sociale. Paris: Bachelier, 1835.
409. *Raisz L.G.* Osteoporosis: Current approaches and future prospects in diagnosis, pathogenesis, and management // *J. Bone Miner. Metab.* 1999. V. 17, № 2. P. 79–89.
410. *Raviglione M.C., Snider D.E., Kochi A.* Global epidemiology of tuberculosis: morbidity and mortality of a global epidemic // *JAMA.* 1995. V. 273, № 3. P. 220–226.
411. *Riggs B.L., Melton L.J.* The prevention and treatment of osteoporosis // *N. Engl. J. Med.* 1992. V. 327. P. 620–627.
412. *Robb R.A.* X-ray computed tomography: from basic principles to applications // *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.* 1982. V. 11. P. 177–201.
413. *Robergs R.A., Roberts S.O.* Exercise physiology. Exercise, performance, and clinical applications. St. Louis: Mosby-Year Book, 1997.

414. *Robinett-Weiss N., Hixson M.L., Keir B., Sieberg J.* The Metropolitan Height-Weight Tables: perspectives for use // *J. Am. Diet. Assoc.* 1984. V. 84, № 12. P. 1480–1481.
415. *Roche A.F.* Anthropometric methods: new and old, what they tell us // *Int. J. Obesity.* 1984. V. 8, № 5. P. 509–523.
416. *Roche A.F., Heymsfield S.B., Lohman T.G. (eds.)* Human body composition. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. 376 p.
417. *Roche A.F., Malina R.M.* Manual of physical status and performance in childhood. N.Y., London: Plenum Press, 1983. Vol. 1. Physical status. 1983. 870 p.
418. *Roemmich J.N., Clark P.A., Weltman A., Rogol A.D.* Alterations in growth and body composition during puberty. I. Comparing multicompartiment body composition models // *J. Appl. Physiol.* 1997. V. 83, № 3. P. 927–935.
419. *Rombeau J.L., Rolandelli R.H.* Clinical nutrition: Parenteral nutrition. Philadelphia: W.B. Saunders, 2001. 623 p.
420. *Rookus M.A., Burema J., van t'Hof M.A., Deurenberg P. et al.* The development of the body mass index in young adults, I: age-reference curves based on a four-year mixed-longitudinal study // *Hum. Biol.* 1987. V. 59, № 4. P. 599–616.
421. *Rosenfalck A.M., Almdal T., Gotfredsen A., Hojgaard L.L., Hilsted J.* Validity of dual X-ray absorptiometry scanning for determination of body composition in IDDM patients // *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 1995. V. 55, № 8. P. 691–699.
422. *Rosenthal M., Cramer D., Bain S.H. et al.* Lung function in white children aged 4 to 19 years: II Single breath analysis and plethysmography // *Thorax.* 1993. V. 48, № 8. P. 803–808.
423. *Ross B.* Anthropometry before 1900. In: *Kinanthreport 2000* (Newsletter of the International Society for the advancement of kinanthropometry). 2000. V. 13. P. 11–17.
424. *Ross R.* Advances in application of imaging methods in applied and clinical physiology // *Acta Diabetol.* 2003. V. 40. P. S45–S50.
425. *Ross R.* Magnetic resonance imaging provides new insights into the characterization of adipose and lean tissue distribution // *Can. J. Clin. Pharmacol.* 1997. V. 74. P. 778–785.
426. *Ross R., Rissanen J., Pedwell H., Clifford J., Shragge P.* Influence of diet and exercise on skeletal muscle and visceral adipose tissue in men // *J. Appl. Physiol.* 1996. V. 81, № 6. P. 2445–2455.
427. *Roubenoff R., Kehayias J.J., Dawson-Hughes B., Heymsfield S.B.* Use of dual-energy X-ray absorptiometry: not yet a “gold standard” // *Am. J. Clin. Nutr.* 1993. V. 58, № 5. P. 589–591.
428. *Rubiano F., Nunez C., Heymsfield S.B.* A comparison of body composition techniques // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V. 904. P. 335–338.
429. *Salans L.B., Horton E.S., Sims E.A.H.* Experimental obesity in man: cellular character of the adipose tissue // *J. Clin. Invest.* 1971. V. 50, № 5. P. 1005–1011.

430. *Salvatoni A., Brambilla P., Deiana M., Nespoli L.* Application of DEXA in body composition assessment in children // *Ann. Diagn. Paediatr. Pathol.* 1998. V. 2. P. 49–51.
431. *Sardinha L.B., Lohman T.G., Teixeira P.J. et al.* Comparison of air displacement plethysmography with dual-energy X-ray absorptiometry and 3 field methods for estimating body composition in middle-aged men // *Am. J. Clin. Nutr.* 1998. V. 68, № 4. P. 786–793.
432. *Sawai S., Shirayama M., Mutoh Y., Miyashita M.* // *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 1990. V. 39. P. 155–163.
433. *Schmidt P.K., Carter J.E.L.* Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers // *Hum. Biol.* 1990. V. 62, № 3. P. 369–388.
434. *Schoeller D.A.* Isotope dilution methods // *Obesity* (Eds. P. Bjorntorp, B.N. Brodoff). N.Y.: Lippincott, 1991. P. 80–88.
435. *Schoeller D.A.* Hydrometry // *Human body composition* (Eds. A.F. Roche, S.B. Heymsfield, T.G. Lohman). Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. P. 25–44.
436. *Schoeller D.A.* Hydrometry // *Human body composition*, 2nd ed. (Eds. S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z. Wang, S.B. Going). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. P. 35–49.
437. *Schwenk A., Beisenherz A., Römer K., Kremer G. et al.* Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment // *Am. J. Clin. Nutr.* 2000. V. 72, № 2. P. 496–501.
438. *Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Itallie T.B.* Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study // *J. Appl. Physiol.* 1985. V. 58, № 5. P. 1565–1571.
439. *Seidell J.C., Bakker C.J., Van Der Kooy K.* Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution a comparison between computed tomography and 1,5-T magnetic resonance // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 51, № 6. P. 953–957.
440. *Shah S., Whalen C., Kotler D.P., Mayanja H. et al.* Severity of human immunodeficiency virus infection is associated with decreased phase angle, fat mass and body cell mass in adults with pulmonary tuberculosis infection in Uganda // *J. Nutr.* 2001. V. 131, № 11. P. 2843–2847.
441. *Sheng H.-P., Huggins R.A.* A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat // *Am. J. Clin. Nutr.* 1979. V. 32, № 3. P. 630–647.
442. *Sheng H.-P.* Methodologies for measuring body composition in humans // In: *Designing foods: Animal product options in the marketplace* (Committee on technological options to improve the nutritional activities of animal products, Board on Agriculture, National Research Council). Washington: Natl. Academy Press, 1988. P. 242–250.
443. *Shypailo R.J., Ellis K.J.* Total body chlorine measurements based on the 5.6, 6.1, and 8.6 MeV peaks in in vivo prompt-gamma neutron activation analysis // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1998. V. 236. P. 19–23.

444. *Siconolfi S.F., Gretebeck R.J., Wong W.W., Moore S.S., Gilbert J.H. III.* Determining bone and total body mineral content from body density and bioelectrical response spectroscopy // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, №4. P.1578–1582.
445. *Siconolfi S.F., Gretebeck R.J., Wong W.W., Pietrzyk R.A., Suire S.S.* Assessing total body and extracellular water from bioelectrical response spectroscopy // *J. Appl. Physiol.* 1997. V. 82, №2. P.704–710.
446. *Siri W.E.* Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods // In: Brozek J., Henschel A. (eds.) *Techniques of measuring body composition.* Washington: National Academy of Sciences, National Research Council. 1961. P.223–234.
447. *Sjostrom L.* A computed-tomography based multicompartement body composition technique and anthropometric predictions of lean body mass, total and subcutaneous adipose tissue // *Int. J. Obesity.* 1991. V. 15 (Suppl.2). P. 19–30.
448. *Slaughter M.H., Lohman T.G., Boileau R.A. et al.* Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth // *Hum. Biol.* 1988. V. 60, №5. P. 709–723.
449. *Smalley K.J., Knerr A.N., Kendrick Z.V., Colliver J.A., Owen O.E.* Reassessment of body mass indices // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 52, №3. P. 405–408.
450. *Sniverly W.D. (ed.)* *Body fluid disturbances.* N.Y., London: Grune and Stratton, 1962. 122 p.
451. *Snyder W.S., Cook M.J., Nasset E.S. et al.* Report of the Task Group on Reference Man: ICRP-23. N.Y.: Pergamon Press, 1984.
452. *Speakman J.R. (ed.)* *Body composition analysis of animals: A handbook of non-destructive methods.* Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 252 p.
453. *Spector E., LeBlanc A., Schakelford L.* Hologic QDR 2000 whole-body scans: a comparison of three combinations of scan modes and analysis software // *Osteoporosis.* 1995. V. 5. P. 440–445.
454. *Stewart A.D., Hannan W.J.* Prediction of fat and fat-free mass in male athletes using dual X-ray absorptiometry as the reference method // *J. Sports Sci.* 2000. V. 18, №4. P. 263–274.
455. *Sutcliffe J.F.* A review of in vivo experimental methods to determine the composition of the human body // *Physics Med. Biol.* 1996. V.41, №5. P. 791–833.
456. *Svendsen O. et al.* Measurement of body fat in elderly subjects by dual-energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and anthropometry // *Am. J. Clin. Nutr.* 1991. V. 53, №5. P. 1117–1123.
457. *Svendsen O.L., Haarbo J., Hassager C., Christianssen C.* Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo // *Am. J. Clin. Nutr.* 1993. V. 57, №5. P. 605–608.
458. *Swanpalmer J., Kullenberg R., Hansson T.* The feasibility of triple-energy absorptiometry for the determination of bone mineral, Ca and P in vivo // *Physiol. Meas.* 1998. V. 19, №1. P. 1–15.

459. *Takashima S., Postow E., Schwan H.P.* The interaction of acoustical and electromagnetic fields with biological systems (Symposium on honouring Prof. Hermann Schwan on the occasion of his 65th birthday // *Bioelectromagnetics*. 1982. V. 3, №1.). N.Y.: Liss, 1982. 177 p.
460. *Tanner J.M.* The physique of the Olympic athlete. L., 1964. 126 p.
461. *Taylor A., Scopes J.W., du Mont G., Taylor B.A.* Development of an air displacement method for whole body volume measurement of infants // *J. Biomed. Eng.* 1985. V. 7, № 1. P. 9–17.
462. *Thomas B.J., Cornish B.H., Ward L.C.* Bioelectrical impedance analysis for assessment of body fluid volumes: A review // *J. Clin. Eng.* 1992. V. 17, № 6. P. 505–510.
463. *Thomas D.W., Ryde S.J.S., Ali P.A., Birks J.L. et al.* The performance of an infra-red interactance instrument for assessing total body fat // *Physiol. Meas.* 1997. V. 18, № 4. P. 305–315.
464. *Thomasset A.* Bio-electrical properties of tissue impedance measurements // *Lyon Med.* 1962. V. 207. P. 107–118.
465. *Tittel K., Wutscherk H.* Sportanthropometrie. Leipzig: Johan Ambrosius Barth, 1972. 276 p.
466. *Tran Z.V., Weltman A.* Generalized equation for predicting body density of women from girth measurement // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989. V. 21, № 1. P. 101–104.
467. *Treuth M.S., Hunter G.R., Kekes-Szabo T.* Estimating intra-abdominal adipose tissue in women by dual-energy x-ray absorptiometry // *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. V. 62, № 3. P. 527–532.
468. *Utter A.C., Nieman D.C., Ward A.N., Butterworth D.E.* Use of leg-to-leg impedance method in accessing body-composition change in obese women // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 69, № 4. P. 603–607.
469. *Valentin J.* Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89 // *Annals of the ICRP*. 2002. V. 32, № 3–4. P. 1–277.
470. *Van der Ploeg G.E., Gunn S.M., Withers R.T., Modra A.C., Crockett A.J.* Comparison of two hydrodensitometric methods for estimating percent body fat // *J. Appl. Physiol.* 2000. V. 88. P. 1175–1180.
471. *Van Loan M.D.* Assessment of fat-free mass in teen-agers: use of TOBEC methodology // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 52, № 4. P. 586–590.
472. *Van Loan M.D., Koehler L.S.* Use of total-body electrical conductivity for the assessment of body composition in middle-aged and elderly individuals // *Am. J. Clin. Nutr.* 1990. V. 51, № 4. P. 548–552.
473. *Van Loan M.D., Mayclin P.* A new TOBEC instrument and procedure for the assessment of body composition: use of Fourier coefficients to predict lean body mass and total body water // *Am. J. Clin. Nutr.* 1987. V. 45, № 1. P. 131–137.
474. *Van Mil E.G.A.H., Westerterp K.R., Kester A.D.M., Saris W.H.M.* Energy metabolism in relation to body composition and gender in adolescents // *Arch. Dis. Child.* 2001. V. 85. P. 73–78.

475. *Vaswani A., Vartsky D., Ellis K.J., Yasumura S., Cohn S.H.* Effects of caloric restriction on body composition and total body nitrogen as measured by neutron activation // *Metabolism*. 1983. V. 32, № 2. P. 185–188.
476. *Wagner D.R., Heyward V.H.* Techniques of body composition assessment: a review of laboratory and field methods // *Res. Q. Exerc. Sport*. 1999. V. 70, № 2. P. 135–149.
477. *Wang J., Thornton J.C., Kolesnik S., Pierson R.N. Jr.* Anthropometry in body composition: An overview // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V. 904. P. 317–326.
478. *Wang ZiMian, Wang Zhong-Ming, Heymsfield S.B.* History of the study of human body composition: A brief review // *Am. J. Hum. Biol.* 1999. V. 11, № 2. P. 157–165.
479. *Wang Z., Deurenberg P., Wang W., Pierson R.N., Heymsfield S.B.* Fraction of carbon-free body mass as oxygen is a constant body composition ratio in men // *J. Nutr.* 1998. V. 128, № 6. P. 1008–1010.
480. *Wang Z., Deurenberg P., Wang W., Pietrobelli A., Baumgartner R.N., Heymsfield S.B.* Hydration of fat-free body mass: a new physiological modeling approach // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1999. V. 276, № 6. P. 995–1003.
481. *Wang Z.M., Deurenberg P., Wang W., Pietrobelli A., Baumgartner R.N., Heymsfield S.B.* Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 69, № 5. P. 833–841.
482. *Wang Z.M., Heshka S., Pierson R.N. Jr., Heymsfield S.B.* Systematic organization of body-composition methodology: an overview with emphasis on component-based models // *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. V. 61, № 3. P. 457–465.
483. *Wang Z.M., Pierson R.M. Jr., Heymsfield S.B.* The five level model: a new approach to organizing body composition research // *Am. J. Clin. Nutr.* 1992. V. 56, № 1. P. 19–28.
484. *Ward L.C., Stroud D.B.* Is 50 kHz the optimal frequency of measurement in single frequency bioelectrical impedance analysis? / In: S. Grimnes, O.G. Martinsen, H. Bruvoll (eds.) *Proceedings of the XI-th international conference on electrical bioimpedance*. June 17–21, 2001. Oslo, Norway, 2001. P. 369–372.
485. *Ward R., Anderson G.* Examination of the skinfold compressibility and skinfold thickness relationship // *Am. J. Hum. Biol.* 1993. V. 5, № 5. P. 541–548.
486. *Webster J.G.* *Electrical impedance tomography*. Bristol, New York: Adam Hilger, 1990. 223 p.
487. *Wells J.C.K., Fuller N.J., Dewit O. et al.* Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models // *Am. J. Clin. Nutr.* 1999. V. 69, № 5. P. 904–912.
488. *Wells J.C.K., Douros I., Fuller N.J., Elia M., Dekker L.* Assessment of body volume using three-dimensional photonic scanning // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V. 904. P. 247–254.

489. *Weltman A., Levine S., Seip R.L., Tran Z.V.* Accurate assessment of body composition in obese females // *Am. J. Clin. Nutr.* 1988. V. 48, № 5. P. 1179–1183.
490. *Weltman A., Seip R.L., Tran Z.V.* Practical assessment of body composition in obese males // *Hum. Biol.* 1987. V. 59, № 3. P. 523–535.
491. *Wilmore J.H., Behnke A.R.* An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women // *Am. J. Clin. Nutr.* 1970. V. 23, № 3. P. 267–274.
492. *Winters R.W. (ed.)* The body fluids in pediatrics. Medical, surgical, and neonatal disorders of acid-base status, hydration, and oxigenation. Boston: Little, Brown and Co., 1973. 715 p.
493. *Withers R.T., LaForgia J., Heymsfield S.B.* Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models // *Am. J. Hum. Biol.* 1999. V. 11, № 2. P. 175–185.
494. *Withers R.T., LaForgia J., Pillans R.K., Shipp N.J. et al.* Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, № 1. P. 238–245.
495. *Wittmann A.* Body composition in an employee health improvement program // *Coll. Anthropol.* 1998. V. 22, № 2. P. 447–450.
496. *Wong W.W., Butte N.F., Hergenroeder A.C., Hill R.B., Stuff J.E., O'Brian Smith E.* Are basal metabolic rate prediction equations appropriate for female children and adolescents? // *J. Appl. Physiol.* 1996. V. 81, № 6. P. 2407–2414.
497. *Wong W.W., Stuff J.E., Butte N.F., O'Brian Smith E., Ellis K.J.* Estimating body fat in African American and white adolescent girls: a comparison of skinfold-thickness equations with a 4-compartment criterion model // *Am. J. Clin. Nutr.* 2000. V. 72. P. 348–354.
498. *Worsfold M., Haddaway M.J., Davie M.W.J.* Changes in total body bone mineral and body composition with age // *Bone.* 1995. V. 17, № 3. P. 328.
499. *Yasumura S., Harrison J.E., McNeill K.G. et al. (eds.)* Advances in *in vivo* body composition studies. N.Y.: Plenum, 1990.
500. *Yasumura S., Wang J., Pierson R.N. (eds.)* In vivo body composition studies. Proceedings of the 5th International symposium on in vivo body composition studies. October 7–9, 1999, Upton, USA. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2000. V. 904. 475 p.
501. *Zapletal A., Paul T., Samanek M.* Normal values of static pulmonary volumes and ventilation in children and adolescents // *Cesk. Pediatr.* 1976. V. 31, № 10. P. 532–539.
502. *Zhu F., Schneditz D., Wang E., Levin N.W.* Dynamics of segmental extra-cellular volumes during changes in body position by bioimpedance analysis // *J. Appl. Physiol.* 1998. V. 85, № 2. P. 497–504.

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 жидкостей в организме
- Денситометрия — определение плотности тканей и органов тела
- Дисперсия (σ^2) — средний квадрат отклонений элементов вариационного ряда от среднего арифметического данной совокупности, $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$
- ДО — дыхательный объём
- ДРА — двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия
- ДФА — двухфотонная абсорбциометрия
- ЖМТ — жировая масса тела
- ИК — инфракрасный
- ИМТ — индекс массы тела
- 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, $v = \sigma/\bar{x}$
- Коэффициент детерминации (R^2) — квадрат коэффициента корреляции
- КТ — компьютерная томография
- МЖТ — масса жировых тканей

ММК — минеральная масса костей
ММТ — минеральная масса тела
МНК — метод наименьших квадратов
МПКТ — минеральная плотность костной ткани
МРА — моноэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия
МРТ — магнитно-резонансная томография
МТ — масса тела
МТБУ — масса тела без углерода
ОЭП — общая электрическая проводимость
ОВО — общая вода организма
ООЛ — остаточный объём легких
ПТ — плотность тела
ПФА — простая фотонная абсорбциометрия
РКТ — рентгеновская компьютерная томография
РО_{выд} — резервный объём выдоха
СММ — скелетно-мышечная масса
СМТБЖ — сухая масса тела без жира
Среднеквадратическое отклонение (σ) — 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
ФОЕ — функциональная остаточная ёмкость легких
%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

Именной указатель

- А**
Абрамова Т.Ф. 18, 77, 80, 167, 204, 208
Авиценна 15
Алексеев В.П. 204
Алексеева Т.И. 7, 10, 204
Альберти 14, 15, 204
Антонов В.Ф. 204
Аретей 13
Аристотель 11, 13, 204
Ариэль Б.М. 208
Арнхейм Р. 14
Архимед 13, 82, 204
Астон Ф. 139, 164
Ахатов Т.А. 158, 204
- Б**
Байер В. 204
Балахонова Е.И. 205
Балуев Э.П. 207, 210
Баранов А.А. 205
Бартолин Т. 12
Башкиров П.Н. 18, 50, 51, 53, 87, 205
Безольд А. 164
Беккерель А. 139, 164
Белецкий А.Ф. 205
Бенке А. 25, 51, 81, 82, 165
Бербенцова Э.П. 83, 205
Беркли Л. 22, 23
Бернар К. 164
Бессесен Д.Г. 17, 55, 205
Бест В. 62
Бишоф Е. 164
Блинов Н.Н. 153, 205
Блисс У. 165
- Б**
Блох Ф. 156, 157, 165
Боголюбов В.М. 205
Большов В.М. 205
Бондаренко Н.И. 19, 31, 37, 135, 205
Бор Н. 140
Борнгардт 53
Бранд Х. 163
Брожек Й. 22, 23, 29, 205
Брока П. 53, 54
Брокгауз Ф.А. 13
Бругш 53
Булгакова Н.Ж. 208
Булик 55
Бунак В.В. 50, 205
Бунимович Д.П. 85, 205
Бурлакова Е.В. 106, 205
Бут Р. 166
- В**
Вагнер Д. 10
Ванг З. 10, 166
Васильев А.В. 205, 206
Васьковский В.Е. 20, 206
Везалий А. 15
Векслер А.Я. 206
Вельтищев Ю.Е. 206
Верёвкин 53
Вернадский В.И. 165
Витрувий 13, 206
Воронов 158
- Г**
Гален 13, 15
Ганн 163
Гемпель 84

- Гершель В. 131, 163
 Гиппократ 13
 Годдард Б. 166
 Година Е.З. 206
 Граевская Н.Д. 10, 206
 Гримм Г. 206
 Груздев М.Е. 50
 Гульд 53, 54
- Д**амадьян Р. 157, 166
 Дахнов В.Н. 106, 206
 Дерябин В.Е. 206
 Джексон Э. 61, 63
 Джемисон Дж.Э. 9, 131, 206
 Джонс К. 131, 206
 Добровольская М.В. 206
 Доскин В.А. 206
 Дринкуотер Д. 33, 166
 Дуглас 83, 84
 Дурново А.С. 50
 Дэви Г. 163
 Дюбуа Д. и Е. 72, 91
 Дюрер А. 15, 207
- Е**горов А.В. 87
 Ефимова С.Г. 10
- Ж**данова А.Г. 10, 84, 85, 88,
 207–209
- З**ациорский В.М. 95, 207
 Замятин Ю.С. 207
- И**ванов Г.Г. 19, 207
 Ильин Л.А. 207
- К**андор Р.А. 83
 Капитанов Е.Н. 207
 Каплан М.А. 19, 31, 37, 135, 205,
 209
 Карпман В.Д. 209
 Кауп 53, 54
 Кейт Н. 97, 164
 Кетле А. 16, 17, 53–57, 163, 164
 Кин Б. 10
 Кларк Ф. 164
 Клэрис Дж. 166
- Колеман У. 164
 Конвей Дж. 166
 Коренблюм Б.И. 151, 165
 Кормак А. 150, 166
 Коул К. 103
 Кочеткова Н.И. 18, 167, 209
 Кравчук А.С. 9, 150, 151, 158, 163
 Кротов В.П. 210
 Крючков Ю.Ю. 207
 Кузнецов Р.А. 9, 207
 Кузьмина М.Т. 207
 Кукушкин Ю.Н. 207
 Куллен У. 16
 Курочкин С.С. 207
 Кушнер Р. 17, 55, 205
 Кэллахан Т. 10
 Кэмерон Дж. 141, 165
 Кюри И. и Ф. 140, 165
- Л**акин Г.Ф. 13, 207
 Ланге 60, 63
 Ландсберг Г.С. 207
 Лаутербур П. 157, 166
 Леви Г. 136, 167
 Левченко О.В. 130, 208
 Леонардо да Винчи 15
 Либих Ю. 163
 Ливи 53, 54
 Литвинов А.В. 208
 Лич М. 158, 208
 Ломовицкий 53
 Лосев А.Ф. 14, 208
 Лукницкий В.А. 209
 Лутовинова Н.Ю. 19, 59, 65, 68,
 72, 73, 84, 205, 208, 212
- М**агнус-Леви А. 164
 Мальцева Н.Л. 207
 Мануврие 53
 Мартин 42, 43, 50
 Мартиросов Э.Г. 5, 18, 58, 74, 77,
 80, 83, 167, 204, 207–209,
 211
 Маслов И.А. 209
 Матейка Й. 32, 33, 41, 71–73, 75,
 77, 165, 167

- Медик В.А. 209
 Мелтон Л.Дж. 19, 210
 Менделеев Д.И. 164
 Мишневский В.Г. 53, 209
 Морзе С. 165
 Московец О.Н. 120, 210
 Мочан 53
 Мур Ф. 36, 97
- Н**икандер И. 120
 Николаев Д.В. 5, 120, 205–207, 209, 210
 Носков В.Б. 10, 117, 207, 210
 Ньютон И. 163
- О**ленева Т.А. 210
 Оллмар С. 120
 Ом Г. 163
 Орс 84
- П**авловский О.М. 204, 210
 Палеев Н.Р. 210
 Паржизкова Я. 84
 Парселл Э. 157, 165
 Патон А. 166
 Паунд Р. 165
 Пейс Н. 25
 Пинье 53, 54
 Пинтауро С. 147
 Пирсон Р. 166
 Платон 12
 Плиний Старший 13, 210
 Поликлет 13
 Поллок М. 61, 63
 Полянский И. 77, 79
 Похис К.А. 206, 210
 Пурунджан А.Л. 206
 Пушкин С.В. 205, 206, 209
- Р**адон И. 151
 Раевский Б. 104
 Райд Дж. 165
 Распутный В.Н. 207
 Ратбун Э. 25
 Резерфорд Э. 140, 164
 Рентген В. 139, 164
 Репников А.Н. 18, 209
- Ригз Б.Л. 19, 210
 Рожинская Л.Я. 19, 141, 210
 Ройтберг Г.Е. 210
 Романова Т.Ф. 10, 209
 Рохлин Д.Г. 211
 Рорер 53, 54
 Росбери Дж. 10
 Росс У. (Б.) 10, 33
 Рембрандт 16
 Рубенс 16
 Рубин А.Б. 205, 211
 Руднев С.Г. 5, 205, 207, 209
 Рябоконе Д.С. 130, 208, 212
- С**вифт Дж. 41
 Селуянов В.Н. 95, 211
 Семенов М.М. 209
 Сири В. 22, 23, 27
 Скальный А.В. 34, 163, 211
 Слотер М. 69
 Смирнов А.В. 210
 Смирнова Н.С. 9, 19, 211
 Сократ 12
 Сологуб Е.Б. 211
 Солодков А.С. 211
 Соренсон Дж. 165
 Спицын В.А. 211
 Стулин И.Д. 130, 211
- Т**аннер Дж. 61, 63
 Тарусов Б.Н. 106, 107, 165, 211
 Татонь Я. 11, 13, 16, 211
 Терлова Л.Д. 10
 Тетельбаум С.И. 151, 165, 211
 Тихонов А.Н. 9, 151, 211
 Тищенко 118
 Томассет А. 107, 118, 165
 Томсон В. 102, 103, 164
 Туйкин С.А. 205, 210
 Туманян Г.С. 18, 209–211
 Тустановский В.Т. 212
 Тютин А.А. 151, 165
- У**айльд Дж. 165
 Уайтхаус Р. 61, 63
 Усатенко О.К. 212
 Уткин М.М. 210

- Уткина М.И. 10, 59, 72, 73, 85,
205, 208, 212
Уэбб С. 9, 104, 105, 126, 150, 151,
212
- Ф**ерми Э. 140, 165
Флеминг 16
Фостер К. 103–105, 110, 126, 213
Фостер М. 166
Фрике Г. 103, 165
- Х**адсон Р. 9, 131, 212
Хаммурапи 12
Ханина К.П. 84, 212
Харкер В. 166
Харпенден 43, 44, 60, 61, 63, 70
Хаунсфилд Г. 150, 166
Хаури Д. 165
Хевеши Д. 136, 165
Хеймсфилд С. 166
Хелгасон С. 151, 212
Хмелевский Ю.В. 212
Холден 84
Хэкфорд Г.Л. 212
- Ц**ветков А.А. 210
- Ч**ердынцев В.В. 163, 212
Чернышёв А.К. 130, 212
Чикирдин Э.Г. 144, 212
Чтецов В.П. 9, 19, 59, 64, 72, 73,
84, 205, 208, 209, 212
- Ш**ван Х. 103–105, 110, 126, 213
Шванн Т. 163
Шеффер П. 164
Шлейден М. 163
Шик Л.Л. 83
- Э**мсли Дж. 34, 163, 213
Энгер Х. 165
Эрисман Ф.Ф. 53
Эфрон И.А. 13
- Я**рошук В. 77, 79
- Agertoft L. 148, 213
Aitkens S. 88, 90, 91, 217
Akers R. 85, 213
Armellini F. 155, 213
Armstrong L.E. 213
- B**aker L.E. 109, 127, 220
Bakker H.K. 23, 28, 213
Banerjee 87
Bartoli W.P. 98, 213
Baumgartner R.N. 30, 101, 111–113,
130, 213, 216, 222, 223, 225,
227, 233
Baxter J.P. 19, 213
Behnke A. 9, 19, 20, 25, 51, 82, 214,
215, 234
Bellizzi M.C. 58, 218
Bemben M.G. 214
Benedict 200
Best W.R. 62, 214
Biaggi R.B. 91, 92, 214
Black 149
Boesch C. 162, 214
Bohm D. 9, 227
Boileau R.A. 128, 214, 215, 222, 231
Bolonchuk W.W. 111, 225
Borkan G.A. 214
Boulier A. 107, 214
Bracco D. 109, 214
Braillon 143
Bray G.A. 70, 214
Brodie D.A. 33, 215
Brozek J. 9, 19, 20, 22, 29, 30, 215,
231
Bulik C.M. 55, 215
Bunt J.C. 101, 215
Buskirk E.R. 85, 213, 221, 225
Butte N.F. 215, 234
Buzzell P.R. 215
- C**alle E.E. 16, 58, 59, 215
Cameron J.R. 140, 215
Carter J.E.L. 63, 230
Cheek D.B. 216
Chettle D.R. 136, 216
Chumlea W.C. 101, 213, 216, 220,
221, 226
Clarys J.P. 20, 73, 86, 216, 223, 226

- Cohn S.H. 31, 136, 138, 216, 225, 233
 Cole K.S. 106, 216, 217
 Cole R.H. 216, 217
 Colliver J.A. 56, 216, 231
 Conway J.M. 132, 134, 217
 Crapo R.O. 91, 217
 Cunningham J.J. 200, 217
 Curtis H.J. 106, 216
- D**
 Davies 111
 Davis 134
 De Lorenzo A. 217, 226
 Dempster P. 88, 90, 91, 217
 Dequeker J. 147, 217
 Despres J.-P. 152, 154–156, 159, 217
 Dezenberg C.V. 70, 199, 218
 Deurenberg P. 57, 111, 112, 116, 217, 229, 233
 Deurenberg-Yap M. 116, 217
 Dewit O. 93, 218, 220, 233
 Dietz W.H. 57, 58, 213, 218
 Doupe M.B. 76, 218
 Drinkwater D.T. 33, 216, 226
 Du Bois D. and E.F. 72, 91, 218
 Durnin J.V.G.A. 62, 68, 69, 199, 218
- E**
 Eastman J.D. 9, 219
 Eckerson J. 64, 218
 Edelman I.S. 31, 97, 100, 218
 Edington J. 19, 218
 Elia M. 134, 200, 218, 223, 233
 Ellis K.J. 9, 24, 31, 38, 97, 98, 102, 110, 113, 155, 215, 216, 218, 219, 230, 233, 234
- F**
 Feigin 58
 Fidanza F. 20, 26, 219
 Fields D.A. 90, 94, 147, 148, 219, 222
 Fischer M. 147, 223
 Fjeld 111
 Forbes G.B. 9, 25, 37, 163, 219
 Formica C.A. 153, 219, 228
 Foster M.A. 104, 219, 220
 Fremlin J.H. 136, 216
- Fricke H. 106, 220
 Friedl K.E. 220
 Frühbeck 21, 220
 Fuller M.F. 121, 220
- G**
 Gallagher D. 57, 200, 220, 222
 Geddes L.A. 109, 127, 220
 Ghosh S. 220
 Girandola 51
 Gnaedinger R.H. 88, 221
 Going S.B. 83–85, 95, 222, 223, 230
 Goran M.I. 94, 147, 148, 218, 219, 228
 Grampp S. 153, 221
 Gundlach B.L. 88, 221
 Guo S.S. 111, 220, 221, 226
- H**
 Harker W.H. 221
 Harris 200
 Harrison G.G. 68, 221
 Harsha D.W. 70, 86, 214, 221
 Heitmann 111
 Henschel A. 9, 215, 231
 Hergenroeder A.C. 221, 234
 Hertzberg H.T. 95, 221
 Hevesy G. 136, 221
 Heymsfield S.B. 9, 31, 33, 34–36, 38, 70, 152, 160, 163, 213, 216, 217, 220, 222, 223, 225, 227–230, 233, 234
 Heyward V.H. 9, 18, 24, 31, 32, 70, 74, 132, 134, 222, 225, 233
 Hills A.P. 84, 223, 228
 Hoffer E.C. 222
 Holder D.S. 162, 222
 Houtkooper L.B. 111, 223
 Huggins R.A. 101, 230
- I**
 Israel R.G. 134, 223
- J**
 Jackson A.S. 61, 62, 68–70, 115, 199, 223
 Janssen I. 110, 112, 223, 225
 Jebb S.A. 220, 223
 Johnson M.S. 130, 223
 Jossinet J. 226

- Jürimäe T. 223
- Kalantar-Zadeh** 135
 Kalender W.A. 147, 223
 Kamba M. 162, 223
 Kanis J.A. 149, 223
 Katch F.I. 86, 224
 Kehayias J.J. 224, 229
 Keith N.M. 97, 224
 Kelly T.L. 143, 149, 224
 Keshtkar A. 120, 224
 Keys A. 20
 Kleiber A. 200
 Koehler L.S. 130, 232
 Koester R.S. 155, 224
 Kotler D.P. 224, 230
 Kotzki P.O. 162, 224
 Kreis R. 162, 214
 Kushner R.F. 111, 221, 224
 Kyle U.G. 112, 224
- Lee** R.C. 76, 199, 225
 Leibman J. 31, 218
 Levi H. 136, 221
 Liedtke R.J. 110, 127, 225
 Lockner D.W. 93, 225
 Lohman T.G. 9, 19, 28, 29, 31, 62, 63, 69, 86, 116, 213, 215, 217, 221–223, 225, 229–231
 Lukaski H.C. 111–113, 225
- Madsen** O.R. 146, 225
 Malina R.M. 225, 229
 Martin A.D. 76, 216, 218, 226
 Matiegka J. 32, 71, 75, 199, 226
 Mayclin P. 130, 232
 Mayfield 111
 Mazess R.B. 143, 146, 226
 McAdams E.T. 226
 McCrory M.A. 90, 92, 219, 226
 Melton L.J. 143, 228
 Mitsiopoulos N. 159, 227
 Miyatani M. 120, 227
 Moore F.D. 9, 31, 36, 97, 218, 227, 228
- Morse S. 106, 220
- Nagano** M. 113, 227
 Nagy T.R. 130, 218, 223, 228
 Nicander I. 120, 227
 Norris K.H. 134, 217
 Nyboer J. 227
- Organ** L. 109, 227
 Ott M. 113, 227
 Overbeck D. 9, 227
- Pace** N. 25, 227
 Pařízková J. 84, 228
 Parr R.M. 136, 216
 Pedersen S. 148, 213
 Pierson R.N. 163, 224, 228, 233, 234
 Pietrobelli A. 143, 145, 228, 233
 Pintauro S.J. 147, 155, 215, 228
 Pollock M.L. 62, 68–70, 199, 223
 Pouliot 155
 Preedy V. 9, 228
 Prior B.M. 146, 228
 Prokopec M. 215
- Quetelet** L.A.J. 16, 228
- Rahaman** M.M. 68, 69, 199, 218
 Raisz L.G. 149, 228
 Rathbun E.N. 25, 227
 Riggs B.L. 143, 228
 Robb R.A. 152, 228
 Robergs R.A. 75, 228
 Roberts S.O. 75, 228
 Robinson T.N. 57, 218
 Roche A.F. 9, 22, 26, 28, 29, 73, 86, 134, 213, 216, 217, 221, 225, 226, 229, 230
 Roemmich J.N. 94, 147, 148, 229
 Rolandelli R.H. 162, 229
 Rombeau J.L., 162, 229
 Rosenfalck A.M. 148, 229
 Rosenthal M. 93, 229
 Ross R. 33, 159, 213, 217, 222, 223, 225, 227, 229
 Ross W. (B.) 13, 163, 226, 229

Roubenoff R. 148, 229

Salvatoni A. 148, 230
Sardinha L.B. 92, 230
Schmidt P.K. 63, 230
Schoeller D.A. 31, 98–101, 111, 221, 230
Schwenk A. 113, 230
Seidell J.C. 155, 159, 217, 230
Segal K.R. 111, 112, 115, 230
Selberg 113
Selinger 30
Shah S. 113, 230
Sheng H.-P. 73, 101, 216, 230,
Shypailo R.J. 219, 230
Siconolfi S.F. 231
Siri W.E. 19, 20, 22, 27, 91, 231
Sjostrom L. 154, 156, 231
Slaughter M.H. 62, 68–70, 199, 223, 231
Smalley K.J. 56, 231
Snyder W.S. 31, 231
Sorenson J.A. 140, 215
Speakman J.R. 9, 130, 231
Spector E. 147, 231
Stein 88
Stolarczyk L.M. 9, 18, 24, 132, 134, 222
Stroud D.B. 109, 233
Struikenkamp R.S. 23, 28, 213
Sutcliffe J.F. 136, 231
Svendsen O.L. 155, 231
Swanpalmer J. 162, 231

Tanner J.M. 18, 232

Taylor A. 88, 90, 232
Thomasset A.L. 107, 214, 232
Tittel K. 18, 232
Tran Z.V. 232, 234
Treuth M.S. 232

Valentin J. 21, 35, 195, 232
Van Itallie T.B. 230
Van Loan M. 112, 130, 217, 232
Vaswani A.N. 30, 216, 233
Visscher G.J.W. 88, 221

Wagner D.R. 9, 31, 70, 222, 233
Walser 88
Wang J. 224, 230, 233, 234
Wang Z. 19, 33, 34, 35, 38, 80, 136, 137, 163, 222, 223, 225, 228, 230, 233
Ward L.C. 109, 218, 232, 233
Wells J.C.K. 93, 96, 218, 220, 233
Weltman A. 74, 199, 229, 232, 234
Wilmore J.H. 9, 214, 234
Withers R.T. 217, 232, 234
Womersley J. 68, 69, 199, 218
Wong W.W. 24, 97, 215, 216, 219, 231, 234
Wutscherk H. 18, 232

Yasumura S. 9, 216, 219, 233, 234

Zapletal A. 93, 234
Zhu F. 109, 234
Zillikens 111

Предметный указатель

- Активная клеточная масса**, см.
клеточная масса тела
- Активное** (омическое)
сопротивление 105
- Антропометрия** 41–80
измерительное оборудование
42–44
методика измерений 43–50
приложения 77–80
- Архимеда закон** 13
- Безжировая масса** 21, 25, 26
определение 21
плотность и естественная
вариация 23, 28
- Безжировая фракция мягких
тканей** 28, 29
- Биологические жидкости** 35, 36
внеклеточная и клеточная
жидкость 35, 36
- Биоимпедансный анализ** 25,
102–127
дисперсия 103
измерительное оборудование
107, 108, 113–118
классификация 107, 108
коэффициент поляризации 106
локальный и региональный 120,
121, 124, 125
методические рекомендации 126
надёжность и безопасность 127
область применения 125, 126
одночастотный 118–120
преимущества и недостатки 129
- разновидности метода 106
схемы измерений 117–119, 124,
125
стандартные протоколы
исследований 121–123
физические принципы 109
формулы для оценки состава
тела 111, 112
популяционная
специфичность 110
- Бойля-Мариотта закон** 90
- Весо-ростовые индексы** 16
- Внеклеточные твёрдые вещества**
29–31
- Волюминометрия** 87, 88
- Гидростатическая денситометрия**
23, 81–86
автоматизированная система 85
методика измерений 82, 83
определение остаточного объёма
воздуха в лёгких 83, 84
портативное устройство 85
стационарная малогабаритная
установка 85
точность и воспроизводимость
86
- График Коула-Коула** 110
- Жир тела** 19, 20
абсолютное содержание 70
формула Деценберга 70

- анатомическая классификация 20
- отличие от жировой ткани 73, 74
- процентное содержание 22
- анализ погрешности 22
- зависимость от пола и возраста 24
- классификация 75
- формула Баумгартнера 30
- формула Брожека 22
- формула Галлахера 57
- формула Лоймана 28
- формула Пейса и Ратбун 25
- формула Селинджера 30
- формула Уэллса 93
- формулы Вельтмана 74
- формулы Джексона-Поллока 68, 69
- формулы Сири 22, 27, 91
- формулы Слотер 69, 70
- формулы с учётом пола и возраста 24
- несущественный жир 20, 25, 36
- его функции 20, 21
- абдоминальный жир 21
- внутренний жир 21
- подкожный жир 21
- существенный жир 20, 36
- химическая классификация 20
- Жировая масса тела, см. *жир тела*
- Жировая ткань
- и метаболизм 20, 21
- среднее содержание 21
- И**мпеданс 105
- типичные значения 109
- Инварианты состава тела 35
- Индексы физического развития 52–54
- Индекс Кетлэ 16, 17, 54, 55
- взаимосвязь с заболеваемостью и смертностью 16, 17, 58, 59
- информативность 56–58
- и ожирение 17, 58
- нормальные значения и классификация 54, 55
- преимущества и недостатки 59
- способ зрительной оценки 55, 56
- Инфракрасная техника, области применения 131, 132
- Инфракрасное излучение 131
- интенсивность поглощения и длина волны 132
- начало применения для оценки состава тела 132
- К**алиперометрия 59–62
- измеряемые складки 65, 66
- методические рекомендации 66, 67
- применение у спортсменов 77–80
- схемы измерений 68
- формулы для оценки жировой массы 67–71, 74
- Калиперы
- их разновидности 43, 60–64
- Клеточная масса тела 36, 37
- Л**ипиды, см. *жировая масса тела*
- М**агнитно-резонансная спектроскопия 36, 162
- Магнитно-резонансная томография 110, 156–159
- Метод водного погружения, см. *волюминометрия*
- Метод воздушной плетизмографии 24, 88–94
- достоинства и недостатки 94
- методика измерений 89, 90
- описание устройства 88, 89
- результаты применения 90–94
- Метод инфракрасного отражения 132–135
- клиническое применение 134, 135
- оборудование 132, 133
- процедура измерений 133

- спектры электромагнитных излучений 131
- точность, надёжность и воспроизводимость 134
- Метод инфракрасного сканирования 95, 96
- Метод общей электрической проводимости 128–130
- методические рекомендации 129
- оценка состава тела 129, 130
- устройства метода 128, 129
- Метод определения естественной радиоактивности всего тела 31, 34, 135
- относительное содержание ^{40}K 135
- Метод определения плавучести 95
- Методы разведения 25, 31, 34, 95, 97–102
- методика измерений 99, 100
- метод обратной экстраполяции 100, 101
- метод плато 99, 100
- общая вода организма 99, 100
- основные предположения 98
- объём внеклеточной жидкости 101
- преимущества и недостатки 25, 102
- процентное содержание жировой массы 101
- упрощённая схема 97, 98
- Минеральная масса костей 28–30
- Минеральная масса тела 27–30
- Модели состава тела 19
- двухкомпонентные 19–26
- области применения 26
- определение 19
- пятиуровневая
- многокомпонентная 33–38
- трёхкомпонентные 26–28
- источники погрешности 28
- четырёхкомпонентные 28–33
- неопределённость оценки %ЖМТ 30
- Нейтронный активационный анализ** 30, 34, 135–139
- замедленная и немедленная активация 136, 137
- клиническое применение 138, 139
- методика измерений 136, 137
- Общая вода организма** 24–30
- эталонные методы 25
- Относительная диэлектрическая проницаемость 103, 105
- Плотность тела** 83, 91
- Площадь поверхности тела, формула Дюбуа 91
- Пропорции тела 13–15
- Радиоизотопные и рентгеновские методы** 28, 139–156
- воспроизводимость 145
- двухфотонная абсорбциометрия 142
- двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия 143–149
- и остеопороз 149
- надёжность, точность 146, 147
- проблема взаимной калибровки 147, 148
- сопоставление с другими методами 148, 149
- фактор Пинтауро 147
- моноэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия 142
- простая фотонная абсорбциометрия 140–142
- схема остеоденситометра Кэмерона 141
- рентгеновская компьютерная томография 150–156

- клиническое применение 153, 154
- поколения оборудования 151, 152
- определение 150
- сравнительная характеристика методов 145
- физические основы 145, 146
- Размеры тела 42, 43
- Реактивное сопротивление 105
- Рентгеновская плотность биологических тканей 152
- Рентгеновское излучение 139
- Росто-весовые таблицы 50–52
- Скелетно-мышечная масса**
 - формула Матейки 75
 - формулы Ли 76
- Состав тела
 - белковая масса 29, 36
 - динамика выхода публикаций 17
 - инварианты 35
 - и анатомия 15, 16
 - и качество его оценки 31, 32
 - и ожирение 11–13, 16, 17
 - и спорт 18, 19, 185–194
 - и физическая работоспособность 18
 - классификация методов 39, 40
 - минеральные вещества 35
 - области приложений 18, 19
 - объём внеклеточной жидкости 31
 - методы оценки 31
 - углеводы 36
 - химическая классификация 20
- Средний человек (l'homme moyen) 16
- Стереофотограмметрия 95
- Телосложение 12, 13, 15, 50–54, 177
 - астеническое 12
 - идеальное 13, 15
 - различные типы 15
 - стандарты 50–54, 77, 167–194
- Тошная масса тела 25
 - как эквивалент термина “безжировая масса” 26
 - определение 25
- Триглицериды, см. *жир несущественный*
- Удельная проводимость** 103
- Удельное электрическое сопротивление 103, 104
- Условный человек
 - композиция по Брожеку 29
- Фазовый угол** 110, 113
- Финиторий 14, 15
- Формулы Матейки 32, 33, 71–73, 75
 - и популяция спортсменов 33
 - погрешность и популяционная специфичность 33
- Фосфолипиды, см. *жир существенный*
- Фотонное сканирование 39, 95, 96
- Характеристическая частота** 110
- Химические элементы в организме и анализ биосубстратов 34
 - наиболее распространённые 34
- Экземпеда** 14, 15
- Эталонные методы 31, 34, 36, 37, 81, 92, 97, 109, 110
 - гидрометрии 97, 102, 109
 - для оценки жировой массы 31, 109
 - клеточного уровня 37, 109
 - молекулярного уровня 36, 109
 - тканевого уровня 37, 110
 - элементного уровня 34, 109

Научное издание

Мартыросов Эдуард Георгиевич
Николаев Дмитрий Викторович
Руднев Сергей Геннадьевич

**ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ТЕЛА
ЧЕЛОВЕКА**

Зав. редакцией *Н.А. Степанова*
Редактор *Н.В. Протасова*
Художник *Ю.И. Духовская*
Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*
Компьютерный набор и вёрстка
выполнены авторами

Подписано к печати2006
Формат 60×90 1/16. Гарнитура Таймс
Печать офсетная
Усл. печ. л. 15,5. Усл. кр.-отт. . . . Уч.-изд. л.
Тираж 1000 экз. Тип. зак.

Издательство “Наука”
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90

Email: secret@naukaran.ru
www.naukaran.ru

ППП “Типография “Наука”
121099, Москва, Шубинский пер., 6