Д. В. Николаев, С. П. Щелыкалина

ЛЕКЦИИ ПО БИОИМПЕДАНСНОМУ АНАЛИЗУ СОСТАВА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Москва 2016

УДК 572; 612.65; 613.9; 615.47; 621.31
ББК 28.71; 31.221; 51.2; 51.9
Н63

Рецензенты:
Доктор медицинских наук, профессор К.Г. Гуревич
Доктор медицинских наук, профессор С.В. Свиридов
Доктор медицинских наук, профессор Е.Е. Ачкасов

Н63 **Николаев, Д.В.**
Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека / Д.В. Николаев, С.П. Щелыкалина. – М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2016. — 152 с. — ISBN 5-94116-026-1

В предлагаемом учебном пособии представлен курс из 8-ми лекций, посвящённый биоимпедансному анализу состава тела человека. Приведены биофизические обоснования и особенности применения биоимпедансного метода в диетологии, спортивной медицине, скрининговых исследованиях и др. Рассмотрены некоторые результаты выборочных и популяционных исследований состава тела населения России.

Для диетологов, эндокринологов, спортивных врачей, гастроэнтерологов, терапевтов и врачей смежных специальностей.

Nikolaev, D.V.
Bioimpedance analysis of the human body composition: Lectures / D.V. Nikolaev, S.P. Shchelykalina. — M.: RIO TSNIIOIZ, 2016. — 152 p. — ISBN 5-94116-026-1

The proposed textbook contains a course of 8 lectures on bioimpedance analysis of human body composition. Biophysical grounds and features of bioimpedance method applications in nutritional science, sports medicine, screening studies, etc, are presented. Some results of sample and population research on body composition of Russia's population are shown.

This book is intended for nutritionists, endocrinologists, sports doctors, gastroenterologists, physicians and other doctors.

ISBN 5-94116-026-1
© Николаев Д.В., Щелыкалина С.П., 2016
© Оформление — ФГБУ ЦНИИОИЗ Минздрава РФ

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов **6**
Список сокращений **8**
Лекция 1. Введение **9**
1.1. Простые антропометрические методы оценки уровня жироотложения 12
1.1.1. Индекс массы тела 13
1.1.2. Обхват талии 16
1.1.3. Индекс талия — бёдра 16
1.1.4. Формулы идеального веса 17
1.1.5. Соотношения диагностической чувствительности критериев ожирения, основанных на измерениях веса, роста и обхвата талии 18
1.2. Методы оценки состава тела и основного обмена 19
1.2.1. Калиперометрия 21
1.2.2. Метод инфракрасного отражения 22
1.2.3. Подводное взвешивание 22
1.2.4. Воздушная плетизмография 23
1.2.5. Метод разведения индикаторов 24
1.2.6. Определение естественной радиоактивности всего тела 24
1.2.7. Рентгеновские методы и МРТ 25
1.2.8. Прямая и непрямая калориметрия 26
Лекция 2. Биоимпедансный анализ состава тела **27**
2.1. Физические основы метода 28
2.2. Тетраполярная схема измерения импеданса 29
2.3. История разработки биоимпедансных анализаторов 31
2.4. Классификация биоимпедансных анализаторов 36
2.5. Результаты биологических исследований, на которых основаны расчеты жировой и безжировой массы в биоимпедансном анализе 38
2.6. Верификация биоимпедансных оценок состава тела 40
Лекция 3. Методика биоимпедансного исследования состава тела **42**
3.1. Комплект оборудования и компоновка рабочего места 42
3.2. Проверка исправности биоимпедансного анализатора 43
3.3. Подготовка пациента 44

3.4. Установка электродов 45
3.5. Порядок измерений 46
3.6. Влияние некоторых видов нарушения процедуры исследований на оценки жировой и безжировой массы 48
Лекция 4. Интерпретация результатов биоимпедансных исследований состава тела 53
4.1. Первичный протокол 53
4.1.1. Общий вид 53
4.1.2. Примеры 57
4.1.3. Дополнительные страницы первичного протокола 62
4.2. Протокол фазового угла 66
4.3. Динамические протоколы 69
4.3.1. Текущий протокол 69
4.3.2. Графические протоколы 70
4.3.3. Центильные представления данных 74
Лекция 5. Результаты скрининговых исследований 78
5.1. Исследования 2008–2010 годов 78
5.2. Оценка распространенности избыточной массы тела, ожирения и истощения 82
5.3. Физическое развитие детей: сравнение с таблицами И. М. Воронцова 85
5.4. Сравнение популяций по значениям фазового угла 86
Лекция 6. Биоимпедансный анализ в спорте 88
6.1. Особенности применения метода 88
6.2. Динамические протоколы для отдельных видов спорта с ориентацией на результаты высококвалифицированных спортсменов и индивидуальные показатели 91
6.3. Групповые протоколы 96
6.4. Примеры использования биоимпедансных исследований в спорте 97
Лекция 7. Протокол скринингового исследования состава тела групп населения 103
Лекция 8. Применение полисегментной технологии биоимпедансных измерений 111
8.1. Окно визуализации «Регионы» 113
8.2. Протокол «Табличный» 115

8.3. Примеры применения 116
Заключение 119
Рекомендуемая литература 120
Дополнительная литература 120
Источники иллюстраций 121
Приложения 122
П1. Графики зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей антропометрических показателей, параметров состава тела и основного обмена, по данным центров здоровья 122
П2. Тестовые задания 136
П3. Правильные ответы к тестовым заданиям 148
П4. Список вопросов для контроля усвоения материала 149

ОТ АВТОРОВ

Биоимпедансный анализ состава тела — сравнительно новая неинвазивная и широкодоступная медицинская диагностическая технология комплексной оценки водного, липидного и белкового обмена. Получаемая в результате такой оценки информация востребована как на этапах лечения и реабилитации пациентов, так и при определении резервов здоровья и рисков развития заболеваний у практически здоровых людей.

В предлагаемом учебном пособии дается общее представление о физических основах, областях применения метода, возможностях биоимпедансного оборудования. Большое внимание уделено описанию и интерпретации индивидуальных и групповых протоколов биоимпедансного обследования. Приводятся результаты обработки данных профилактического скрининга населения в центрах здоровья.

В лекции 1 даны определения компонент состава тела и примеры связи между нарушением компонентного состава и заболеваниями. Показаны недостатки использования простых антропометрических индексов для диагностики ожирения и приведены оценки их чувствительности и специфичности относительно оценок процента жировой массы в биоимпедансном анализе состава тела. Дана краткая характеристика методов определения состава тела и основного обмена.

В лекции 2 рассмотрены физические основы биоимпедансных измерений, принципы тетраполярных и биполярных методов измерения электрического сопротивления. Приводится история разработки и классификация биоимпедансных анализаторов состава тела. Кратко описаны принципы расчетов компонент состава тела и результаты отечественных исследований по верификации параметров состава тела.

В лекции 3 подробно описаны требования к процедуре биоимпедансных измерений: основное и вспомогательное оборудование, подготовка пациента к измерениям, установка электродов, последовательность действий и рекомендации по распознаванию ситуаций, ведущих к возникновению артефактов измерения. На основе пространственной математической модели тела человека проанализированы механизмы возникновения погрешностей измерения, в частности в условиях централизации и децентрализации кровообращения. Приведены количественные оценки влияния

различных факторов нарушения процедуры исследования на значения погрешностей компонент состава тела.

В лекции 4 дана интерпретация протоколов первичного исследования состава тела человека и рассмотрен ряд клинических примеров, а также подход к оценке метаболической активности тканей тела человека по измеренным значениям фазового угла. Показаны несколько видов протоколов динамического наблюдения за параметрами состава тела.

Лекция 5 посвящена результатам биоимпедансного исследования состава тела населения России по данным центров здоровья в 2010–2012 гг. Приведены оценки распространенности ожирения и истощения. Отечественная популяция сравнивается с популяциями США, ФРГ и Швейцарии по значениям фазового угла.

В лекции 6 описаны особенности использования биоимпедансного анализа в спортивной медицине, приведены специализированные протоколы и нормы для различных спортивных дисциплин.

В лекции 7 рассмотрены формы протоколов для обработки результатов скрининговых исследований клинических и профессиональных групп.

В лекции 8 описаны примеры применения и специальные протоколы полисегментного биоимпедансного анализа.

В приложении 1 приведены графики референтных центильных кривых для российской популяции по данным центров здоровья. Приложение 2 содержит список вопросов и варианты тестовых заданий для контроля усвоения материала лекций.

Авторы благодарят Н. А. Кулагину за внимательное чтение рукописи и предложения по ее улучшению. Авторы признательны рецензентам за критические замечания. Авторы благодарят А. В. Васильева, А. В. Шилину, М. В. Гаврик за возможность использования оригинальных данных.

Авторы старались сочетать полноту и доступность изложения в той мере, в которой это необходимо для практической работы диетологов, реабилитологов, спортивных врачей и специалистов центров здоровья.

Работа поддержана грантом РНФ № 14-15-01085 (ЦНИИОИЗ).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

%АКМ — доля активной клеточной массы в тощей массе тела
%ЖМТ — доля жировой массы в общей массе тела
%СММ — доля скелетно-мышечной массы в тощей массе тела
АКМ — активная клеточная масса
БИА — биоимпедансный анализ
БМТ — безжировая масса тела
ВКЖ — объем внеклеточной жидкости
ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения
ЖМТ — жировая масса тела
ИМТ — индекс массы тела
ИТБ — индекс талия — бёдра (отношение обхвата талии к обхвату бедер)
КЖ — объем внутриклеточной жидкости
КМТ — клеточная масса
ММТ — минеральная масса тела
МРТ — магнитно-резонансная томография
МТ — масса тела
ОВО — общий объем воды организма
ОО — основной обмен, ккал/сутки
ОТ/ОБ — отношение обхвата талии к обхвату бедер
РКТ — рентгеновская компьютерная томография
СММ — скелетно-мышечная масса
ТМ — тощая масса тела
УОО — удельный основной обмен
ФУ — фазовый угол импеданса

Лекция 1.
ВВЕДЕНИЕ

В повседневной жизни принято пользоваться такими понятиями, как тучность, атлетичность, истощенность. Тучность связывают с избыточным количеством жировой ткани, атлетическое телосложение — с повышенным объемом мышечной ткани, а истощенность — с недостаточностью тех и других тканей. Развитием этих понятий в медицине стало учение о составе тела, определяемом как совокупность абсолютных и относительных оценок массы основных видов тканей организма и объемов жидкостных секторов организма — компонент состава тела.

До начала XX века методы изучения состава тела были прерогативой морфологических исследований, проводимых *in vitro*. Дальнейшее развитие медицины и связанных с ней новых технологий привело к разработке ряда эффективных количественных методов оценки компонент состава тела *in vivo*. Вначале были разработаны методы, направленные на определение двух-трех компонент: например, в калиперометрии — жировой и безжировой массы, в методе разведения индикаторов — общей, вне- и внутриклеточной жидкости. Развитие подходов к диагностике, основанных на оценках состава тела, привело к появлению метода биоимпедансного анализа состава тела, который охватывает широкий спектр компонент состава тела и оценок скорости метаболических процессов.

Биоимпедансным анализом состава тела называют медицинскую диагностическую технологию, использующую в качестве исходных данных результаты антропометрических измерений и измерений параметров электрической проводимости участков тела человека. В итоге применения этой технологии получают расчетные значения параметров состава тела и скорости метаболических процессов в совокупности с индивидуально рассчитанными интервалами нормальных значений каждого параметра.

Под компонентами (параметрами) состава тела подразумевают:

— жировую массу;

— тощую, или безжировую, массу;

— клеточную массу или активную клеточную массу, если оценка выполнялась в биоимпедансном исследовании;

— скелетно-мышечную массу;

— минеральную массу;

— жидкостные сектора организма: общую, внеклеточную и внутриклеточную воду.

Численные значения компонент состава тела могут быть выражены как в натуральном представлении, имеющем размерность массы — в килограммах, а объемов — в литрах, так и в относительном: процентных долях массы одной компоненты к массе другой компоненты. В ряде случаев компоненты состава тела рассматривают нормированными на рост или квадрат роста. Представление в нормировке на квадрат роста называется индексным представлением, по аналогии с индексом массы тела.

Скорость метаболических процессов оценивается по следующим показателям:

— основной обмен, ккал/сутки;

— удельный основной обмен, ккал/м^2 в сутки;

— фазовый угол, град.

Удельный основной обмен рассчитывается как отношение значений общего обмена к площади поверхности тела. Фазовый угол представляет собой специфичную только для биоимпедансной технологии оценки состава тела величину, связанную со скоростью метаболических процессов в организме. Расчетная формула и медицинские применения фазового угла будут рассмотрены в лекции 2.

В современной медицине состав тела человека принято связывать с пищевым поведением, двигательной активностью, резервными возможностями организма. Сведения о составе тела используют для диагностики и оценки рисков развития заболеваний, построения тактики лечебных и реабилитационных мероприятий. В табл. 1.1 основные компоненты состава тела соотнесены с некоторыми заболеваниями, которые связывают с выходом за пределы нормальных значений одного или нескольких компонент состава тела.

Таблица 1.1. Компоненты состава тела и ассоциированные с нарушениями компонентного состава тела состояния и заболевания

Компоненты состава тела			**Ассоциированные заболевания и состояния**
Жировая масса			Ожирение, истощение, нарушение обмена веществ, сахарный диабет, метаболический синдром, артериальная гипертония, нарушение работы щитовидной железы, половых желез, снижение фертильности
Безжировая (тощая) масса			Гиподинамия, белковое истощение, анорексия, кахексия
Клеточная масса тела			Белковая недостаточность, склеротические и дегенеративные процессы, состояния катаболической направленности, включая резкую гиподинамию, кахексию
Скелетно-мышечная масса			Мышечная дистрофия различной природы, последствия приема анаболиков, нарушение нейротрофики мышц
Минеральная масса	Общая		Деминерализация, остеопороз
	Костной массы		Деминерализация, остеопороз, нарушение зубной формулы, кариес
	Мягких тканей		Отложение солей, подагра, нарушения электролитного баланса, образования органических камней в почках, желчном пузыре, минерализация атеросклеротических бляшек, очагов хронического воспаления и доброкачественных новообразований
Вода	Общая		Гипергидратация, дисгидрия, дегидратация, отеки, маловодие и многоводие беременных
	Внутриклеточная		Гипергидратация, дисгидрия, дегидратация, клеточный (цитотоксический) отек
	Внеклеточная	Интерстициальная	Отек, включая травматический, аллергический, воспалительный
		Внутрисосудистая	Гипертензия, окклюзии сосудов, варикозное расширение вен, аневризмы
		Трансцеллюлярная	Отек, асцит, выпоты в полости плевры, перикарда, в суставную сумку, жидкостные кисты различной локализации, водянка головного мозга, маловодие и многоводие беременных

Биоимпедансный анализ состава тела основывается на антропометрических и импедансных измерениях без привлечения детальных представлений о морфофункциональном состоянии отдельных органов и систем. Результаты этого анализа позволяют судить о состоянии организма как единого целого и о функционировании отдельных анатомо-физиологических систем.

Наиболее полно преимущества метода оценки состава тела раскрываются в медицинских специализациях, связанных с воздействием на организм факторов питания и движения, с нарушениями гидратации организма, катаболическими и дегенеративными процессами. Этим обусловлено то, что исторически первые факты применения метода оценки состава тела зарегистрированы в таких областях медицины, как диетология и нутрициология, профилактическая и спортивная медицина, реабилитология и эндокринология.

На протяжении последних 50–60 лет количество научных публикаций, связанных с исследованиями состава тела, удваивается каждые 10 лет. За рубежом регулярно выпускаются и переиздаются монографии, посвященные методам анализа состава тела и прикладным аспектам. Значительное место в этих публикациях занимает биоимпедансный анализ состава тела. В отечественной литературе данный метод описан в национальных руководствах по кардиологии, парентеральному и энтеральному питанию [1, 2]. Наиболее полное описание метода и его приложений на русском языке можно найти в работе [3]. В 2014 году опубликована монография [4], в которой приводится большой объем фактических данных, описывающих половозрастную изменчивость параметров биоимпедансного анализа состава тела для населения России.

1.1. Простые антропометрические методы оценки уровня жироотложения

В связи с высокой востребованностью оценки жироотложения при решении самых разных медицинских задач предпринимались многочисленные попытки использовать для такой оценки наиболее доступные антропометрические параметры: рост, вес и длины обхватов талии и бедер. Ниже рассмотрены самые распространенные методы и проводится сравнение их диагностической чувствительности между собой, а также с оценками жировой массы в биоимпедансном анализе состава тела.

1.1.1. Индекс массы тела

Антропометрические индексы, и в частности индекс массы тела (ИМТ), являются эпидемиологически значимыми индикаторами рисков заболеваемости и смертности, что следует из многочисленных работ, инициированных ВОЗ. Известно, что повышенным значениям ИМТ соответствуют повышенные риски сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, пониженным — респираторных заболеваний.

Принятая ВОЗ классификация значений ИМТ для взрослых, определяющая интервалы пониженных, нормальных и повышенных значений массы тела, стала повсеместно применяемой из-за доступности исходных данных роста и веса. Но не надо забывать, что результаты, полученные на популяционном уровне исследований, не всегда справедливы для индивидуальных оценок.

На индивидуальном уровне использование классификации ИМТ для оценки степени жироотложения может приводить к ошибкам при постановке диагноза. Это обусловлено тем, что при одном и том же значении ИМТ соотношение между составляющими массы тела — тощей и жировой массой — может варьироваться в достаточно широких пределах. Принятая ВОЗ формулировка термина «ожирение» гласит: ожирение — хроническое неинфекционное заболевание обмена веществ, проявляющееся избыточным развитием жировой ткани, прогрессирующее при естественном течении заболевания, имеющее определенный круг осложнений и обладающее высокой вероятностью рецидива после окончания курса лечения. Избыточное развитие жировой массы обычно характеризуется повышенными значениями ее доли в общей массе тела — %ЖМТ. Рассмотрим две наиболее часто встречающиеся ситуации, приводящие к ошибкам в постановке диагноза «ожирение» или «избыточный вес», по данным ИМТ.

Ложный диагноз ожирения. На рис. 1.1 слева изображены два мужчины с одинаковыми значениями роста и веса. ИМТ у обоих мужчин выше 30 кг/м^2, и в соответствии с принятой классификацией по ИМТ им обоим следует поставить диагноз «ожирение». Судя по внешнему виду, можно сказать, что для одного из изображенных мужчин этот диагноз не будет верен: его избыточный вес обусловлен чрезмерным развитием не жировой, а мышечной массы.

Рис. 1.1. Изображения мужчин с одинаковыми высокими значениями ИМТ и женщин с одинаковыми нормальными значениями ИМТ, при этом значения доли жировой массы различаются

Ожирение при нормальном весе (скрытое ожирение). Если человек с субтильной конституцией набирает жировую массу, значения ИМТ входят в область нормальных, при этом процентная доля жировой массы может соответствовать и избыточному весу, и ожирению. На рис. 1.1 изображены две женщины с одинаковыми значениями ИМТ = 24 кг/м^2. Доля жировой массы у одной из них (слева) составляет 23 %, что соответствует интервалу нормальных значений, у другой (справа) — 34 %, что соответствует ожирению.

Из графиков на рис. 1.2 видно, что для лиц среднего возраста чувствительность пороговых значений ИМТ для мужчин составляет около 30–60 %, а для женской части отечественной популяции — 50–90 %. Таким образом, использование ИМТ для оценки жироотложения у мужчин дает больше ошибочных интерпретаций, чем у женщин.

На рис. 1.3 изображены графики диагностической эффективности ИМТ относительно процента жировой массы при постановке диагнозов «ожирение» с разделением ошибочных диагнозов на типы «ложное ожирение» и «скрытое ожирение».

На рис. 1.4 изображены графики диагностической эффективности ИМТ при постановке диагнозов «избыточный вес» с разделением ошибочных диагнозов на типы «ложный избыточный вес» и «скрытый избыточный вес».

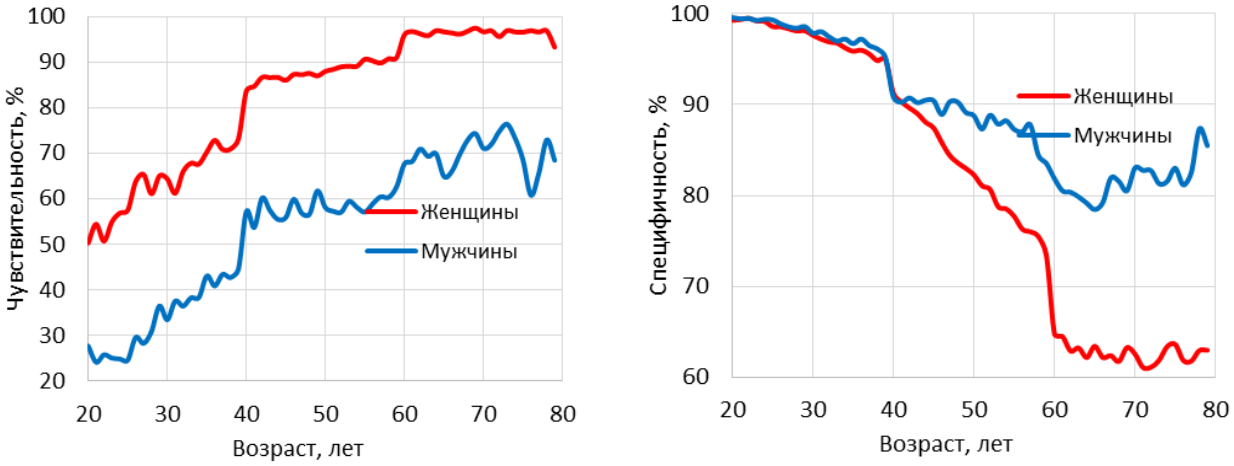


Рис. 1.2. Графики диагностической чувствительности и специфичности пороговых значений ИМТ, используемых ВОЗ для диагностики ожирения

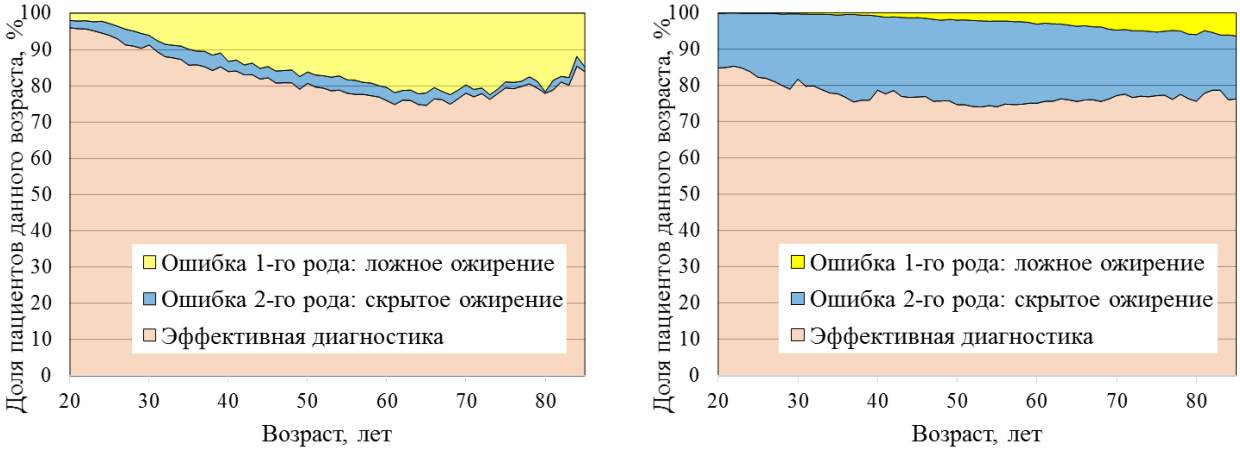


Рис. 1.3. Структура ошибок при диагностике ожирения с помощью критериев ИМТ: слева — у мужчин, справа — у женщин

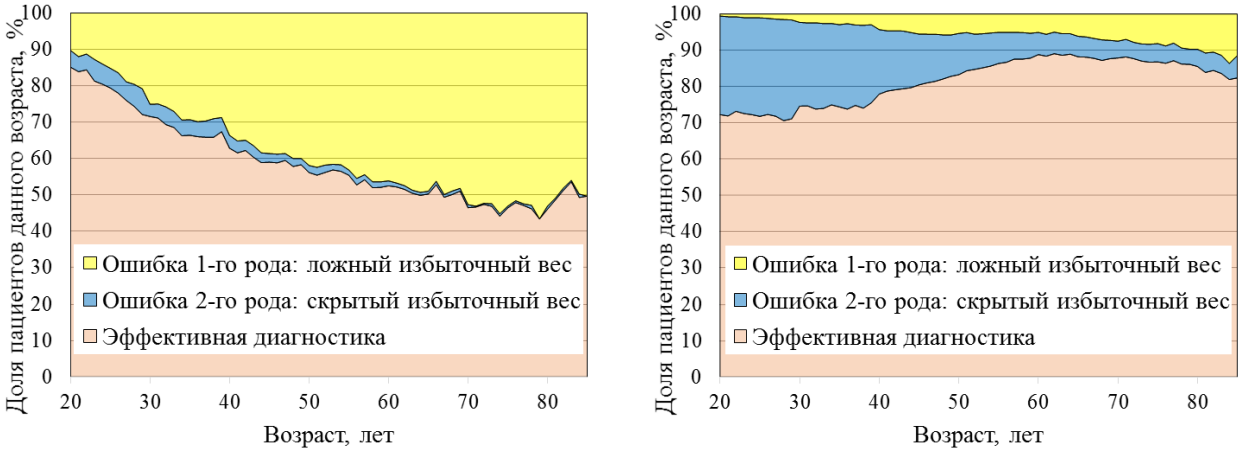


Рис. 1.4. Структура ошибок при диагностике избыточного веса с помощью критериев ИМТ: слева — у мужчин, справа — у женщин

Анализ вышеприведенных рисунков показывает, что у мужской части отечественной популяции преобладают ошибки 1-го рода: «ложное ожирение» и «ложный избыточный вес», а у женской — «скрытое ожирение» и «скрытый избыточный вес». Этот факт имеет очевидное объяснение: у мужчин чаще встречается повышенное развитие скелетно-мышечной системы, а у женщин — астеническое телосложение.

1.1.2. Обхват талии

В качестве еще одного распространенного критерия постановки диагноза «ожирение» используется длина обхвата талии. Согласно этому критерию для взрослого контингента граничными значениями являются: для мужчин — 102 см, для женщин — 88 см. На рис. 1.5 показаны графики диагностической чувствительности и специфичности в зависимости от возраста, рассчитанные относительно процента жировой массы.

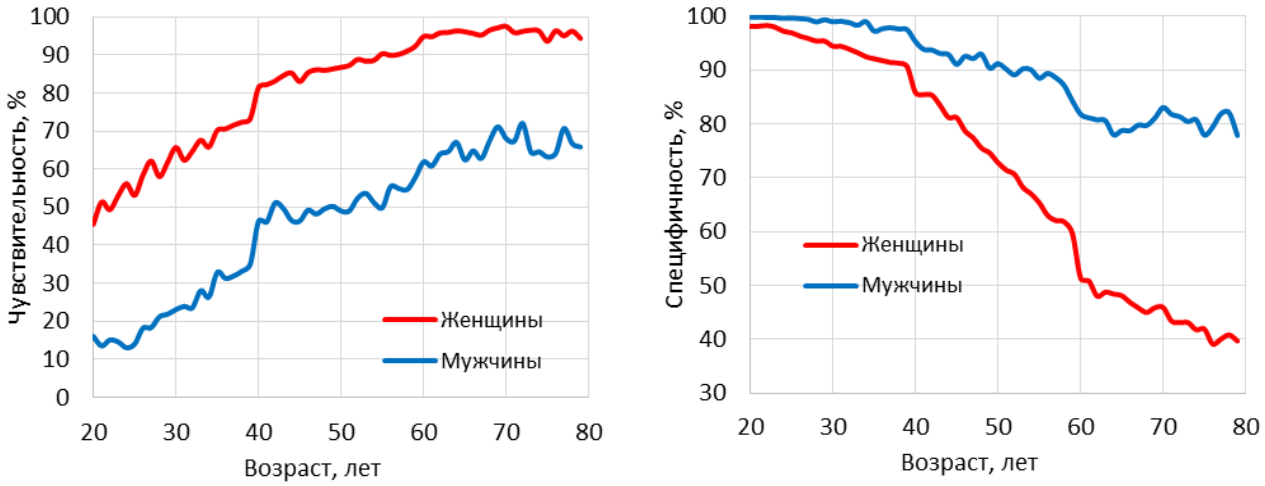


Рис. 1.5. Графики диагностической чувствительности и специфичности пороговых значений обхвата талии (эталонный критерий ожирения — %ЖМТ для ИМТ = 30 белого населения, по *Gallagher D. et al. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index // The American Journal of Clinical Nutrition. 2000. Т. 72. №. 3. С. 694–701*)

1.1.3. Индекс талия — бёдра

Критерием абдоминального ожирения принято считать высокие значения соотношения обхватов талии и бедер, называемого индексом талия — бёдра. Для взрослого контингента граничными значениями являются: для мужчин — 1,0, для женщин — 0,85. На рис. 1.6 приведены графики диагностической чувствительности и специфичности пороговых значений

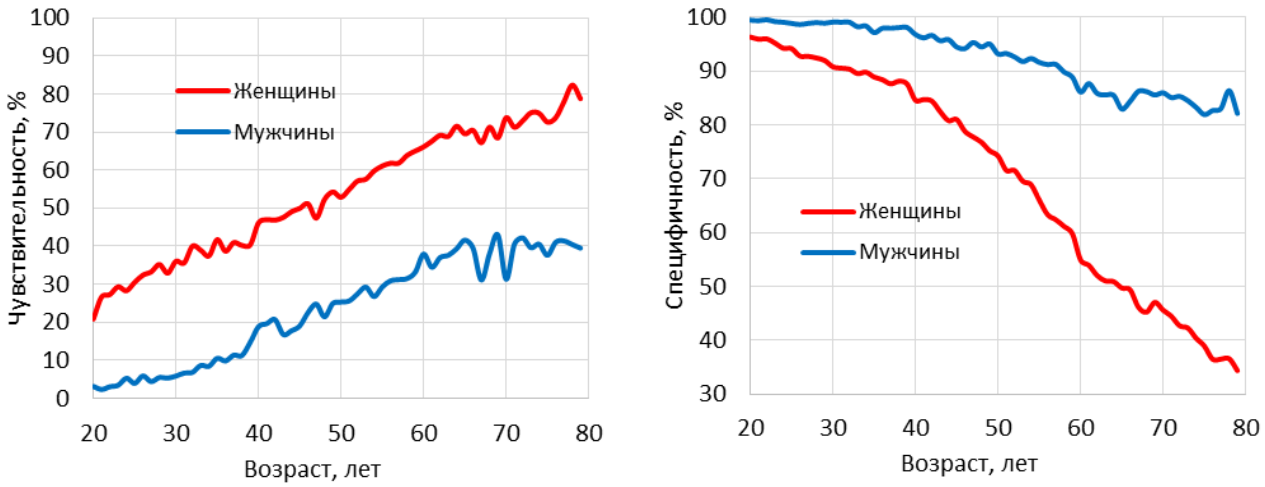


Рис. 1.6. Графики диагностической чувствительности и специфичности пороговых значений отношения обхватов талии и бедер, используемых ВОЗ для диагностики абдоминального ожирения (эталонный критерий ожирения — %ЖМТ для ИМТ = 30 белого населения, по *Gallagher D. et al. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index // The American Journal of Clinical Nutrition. 2000. Т. 72. № 3. С. 694–701*)

отношения обхватов талии и бедер, используемых ВОЗ для диагностики абдоминального ожирения.

1.1.4. Формулы идеального веса

Известно множество формул для расчета идеального веса, или нормальной массы тела, основанных на соотношении значений веса и роста. Чаще других упоминаются формула Брока:

Идеальный вес [*кг*] = *Рост* [*см*] – *100*,

и ее модификация, называемая нередко формулой Брока с поправкой на рост или формулой Брока — Бругша:

Идеальный вес [*кг*] = *Рост* [*см*] – *100*, если рост меньше 165 см,

Идеальный вес [*кг*] = *Рост* [*см*] – *105*, если рост 165–175 см,

Идеальный вес [*кг*] = *Рост* [*см*] – *110*, если рост больше 175 см.

Также используются формулы Лоренца, Вердонка, Купера, Брейтмана, Ноордена, Татоня, предусматривающие раздельное вычисление идеального веса для мужчин и женщин.

Для диагностики ожирения с помощью формул идеального веса пользуются критериями превышения значений идеального веса на 15 или 20 %. Информативность этого параметра для постановки диагноза «ожирение» примерно соответствует информативности индекса массы тела.

1.1.5. Соотношения диагностической чувствительности критериев ожирения, основанных на измерениях веса, роста и обхвата талии

Оценить эффективность диагностики ожирения по данным только перечисленных антропометрических измерений можно, глядя на результаты корреляционного анализа. Коэффициент корреляции отражает наличие и силу линейной связи между парой параметров. Коэффициент корреляции, возведенный в квадрат, называется коэффициентом детерминации и указывает на долю объясненной дисперсии — на то, какая часть изменчивости параметра антропометрии связана с изменчивостью доли жировой массы. На рис. 1.7 показаны графики зависимости от возраста коэффициентов детерминации четырех антропометрических параметров относительно процента жировой массы, наиболее часто используемых для диагностики ожирения.

Из графиков видно, что превышение идеального веса и ИМТ имеют близкие значения коэффициента детерминации, что объяснятся единой природой этих параметров: оба они основаны на измерениях роста и веса пациентов. Эти параметры имеют наибольшие значения коэффициента детерминации среди других антропометрических методик. Самый низкий коэффициент детерминации, не более 0,25, — у отношения обхвата талии к обхвату бедер. Значительно сильнее с долей жировой массы связаны значения обхвата талии.

При анализе гендерных различий обнаруживается, что отношение обхвата талии к обхвату бедер у мужчин имеет более сильную связь с долей жировой массы, чем у женщин, в то же время коэффициент детерминации остальных параметров в среднем на 10 % ниже, чем в идентичном возрасте для женщин. У детей же распределение несколько иное: и у мальчиков, и у девочек в пубертатном возрасте наблюдается резкий скачок коэффициента детерминации с последующим провалом, причем у мальчиков скачок сильнее — на 20 %, (у девочек — на 15 %) для ИМТ, так что коэффициент детерминации становится выше, чем у девочек.

Таким образом, если пользоваться лишь критериями ожирения, основанными на измерениях веса, роста и обхватов талии и бедер, то наиболее адекватным выбором будет использование индекса массы тела.

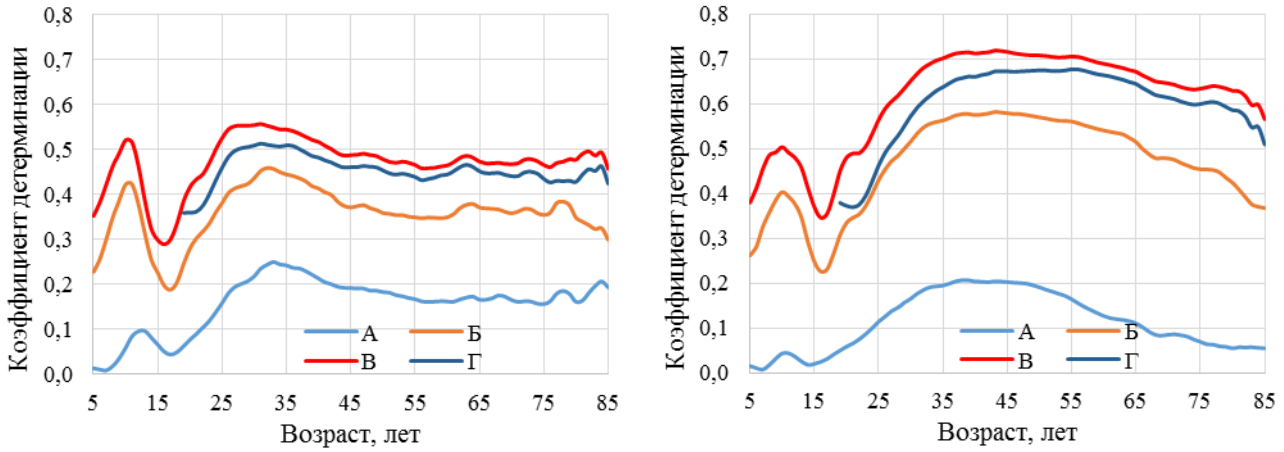


Рис. 1.7. Графики зависимости от возраста коэффициентов детерминации антропометрических показателей, используемых для постановки диагноза «ожирение», относительно процента жировой массы тела. Слева графики для мужчин, справа — для женщин. А — доля ЖМТ(%) и ОТ/ОБ, Б — доля ЖМТ(%) и обхват талии (см), В — доля ЖМТ(%) и ИМТ (кг/м^2), Г — доля ЖМТ(%) и превышение идеального веса больше, чем на 15 % (кг).

1.2. Методы оценки состава тела и основного обмена

В медицинской литературе описано достаточно много методов оценки отдельных компонент состава тела и метаболических коррелятов или их немногочисленных комбинаций *in vivo*. В табл. 1.2 сопоставлены номенклатура параметров, получаемых при применении методов оценки состава тела, и названия этих методов. Приведенные в таблице методы разделены на амбулаторные, не требующие приспособленных помещений и сооружений, и клинические, более громоздкие в реализации. Некоторые из упомянутых в таблице методов (подводное взвешивание, разведение индикаторов) используются уже крайне редко, ввиду замены их более комфортными для пациента и технологичными аналогами.

Как следует из таблицы, биоимпедансный анализ состава тела является на сегодня единственным методом, позволяющим получить широкий спектр диагностических параметров. Этот метод перекрывает возможности одновременного использования ряда других методов, ориентированных на оценку двух-трех компонент состава тела.

Альтернативные пути получения подобного объема информации затруднительны. Так, оценка белковой (клеточной) массы возможна лишь по естественной радиоактивности тела (^{40}К), в России такой аппаратуры нет.

Таблица 1.2. Параметры состава тела и метаболические корреляты, получаемые с использованием различных методов

Методы	Параметры*									
	ЖМТ	БМТ	КМТ	СММ	ОВО	ВКЖ	КЖ	ММТ	ОО	ФУ
Амбулаторные методы										
Калиперометрия	+	+								
Метод инфракрасного отражения	+	+								
Биоимпедансный анализ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Методы, применяемые в клинической практике и научных исследованиях										
Подводное взвешивание	+	+								
Воздушная плетизмография	+	+								
МРТ, РКТ	+	+						+		
Рентгеноденситометрия	+	+						+		
Разведение индикаторов					+	+	+			
Метод определения естественной радиоактивности всего тела (^{40}К)			+							
Непрямая калориметрия									+	

** ЖМТ — жировая масса тела, БМТ — безжировая (тощая) масса тела, КМТ — клеточная масса, СММ — скелетно-мышечная масса, ОВО — общая вода организма, ВКЖ — внеклеточная жидкость, КЖ — внутриклеточная жидкость, ММТ — минеральная масса тела, ОО — основной обмен, ФУ — фазовый угол, МРТ — магнитно-резонансная томография, РКТ — рентгеновская компьютерная томография.*

Для исследования водных секторов организма до появления биоимпедансного анализа использовался метод разведения индикаторов — длительный, трудоемкий и инвазивный, с привлечением дорогостоящей лабораторной техники. Исследования жировой массы могут быть выполнены с помощью ряда методов, не обладающих высокой точностью и воспроизводимостью, таких как антропометрические и калиперометрические измерения, или методов, затратных как для клиники, так и для пациента, причем часть этих методов связана с лучевой нагрузкой: рентгеновской денситометрии всего тела и рентгеновской томографии.

Одна из самых распространенных сфер применения анализа состава тела — оценка питания, включающая, как правило, определение скорости метаболических процессов. Получение в одном цикле амбулаторных ис-

следований достаточного комплекса параметров для оценки питания человека в большинстве случаев устраивает практического врача. Как видно из табл. 1.2, перечень параметров состава тела биоимпедансного анализа содержит два коррелята метаболической активности тканей организма. Один из них, основной обмен, также является расчетным параметром биоимпедансного анализа, второй — фазовый угол — может быть получен только из биоимпедансных измерений. В качестве доступного альтернативного метода в таблице упомянут метод непрямой калориметрии.

1.2.1. Калиперометрия

Традиционный способ оценки степени жироотложения основан на измерении толщины кожно-жировых складок на определенных участках тела. Измерения проводят специальным инструментом — калипером, одна из современных моделей которого показана на рис. 1.8. Результаты измерений нескольких складок усредняют и умножают на площадь поверхности тела, которая рассчитывается приближенно по значениям роста и веса. На практике данной методикой чаще пользуются антропологи и спортивные врачи в тех видах спорта, где толщина складки невелика (например, в армрестлинге и бодибилдинге).

Рис. 1.8. Калипер FatTrack Pro [1] с цифровой индикацией толщины кожно-жировых складок и нормируемым давлением на кожно-жировую складку

Овладение техникой калиперометрии требует серьезного обучения для получения сопоставимых результатов. В научных исследованиях необходимым критерием качества антропометрических данных, как правило, является наличие у исследователя международного сертификата установленного образца. Обучение методике калиперометрии входит в программу практических занятий по курсу антропометрии для антропологов.

Недостатком калиперометрии как метода оценки общего содержания жира в теле является предположение о постоянстве соотношения подкожного и внутреннего жира, так как количество внутреннего жира не поддается измерению калипером. В условиях значительной распространенности избы-

точного веса и ожирения указанное предположение не всегда верно, особенно в возрастных группах старше 35–40 лет.

1.2.2. Метод инфракрасного отражения

В основе применения метода инфракрасного отражения для оценки состава тела лежат различия спектральных характеристик поглощения электромагнитного излучения биологическими тканями. Устройства, основанные на методе инфракрасного отражения, выпускаются американской компанией Futrex с середины 1990-х годов и представляют собой источник инфракрасного излучения в ближнем диапазоне на нескольких длинах волн, снабженный световодом, излучателем и принимающим детектором (рис. 1.9). Измеряется оптическая плотность тканей руки в срединной точке доминантного бицепса. На основе значений оптической плотности, а также роста, веса, пола и уровня физической подготовки пациента рассчитывается процентное содержание жира в массе его тела.

Рис. 1.9. Инфракрасный анализатор жировой массы Futrex-62 (www.futrex.com)

Использование единственного, в отличие от калиперометрии, участка измерений может приводить к росту погрешности оценки %ЖМТ ввиду индивидуальных особенностей жироотложения. Поэтому можно предположить, что точность оценки %ЖМТ методом инфракрасного отражения у молодых пациентов максимальна и с возрастом снижается.

1.2.3. Подводное взвешивание

Метод подводного взвешивания, или гидростатическая денситометрия (рис. 1.10), является золотым стандартом определения жировой и тощей массы. Процедура подводного взвешивания следующая.

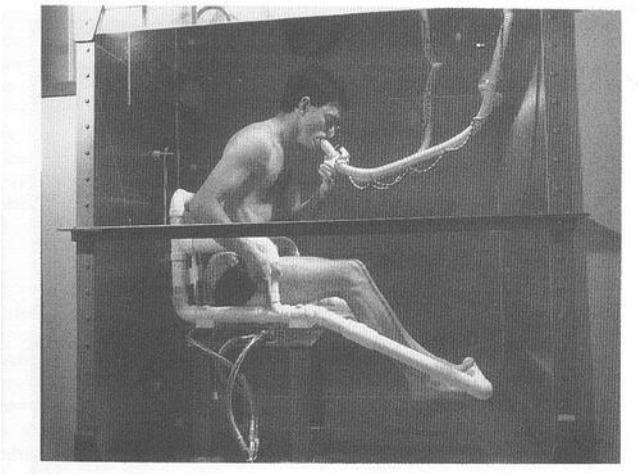


Рис. 1.10. Момент измерений пациента в ванне для подводного взвешивания

Испытуемый в надводном положении пристегивается к креслу (чтобы не всплыл после погружения) и взвешивается. Кресло погружается под воду в специализированной ванне, через стеклянную стенку испытуемому дается команда (как правило, жестом ведущего исследование) выдохнуть остаточный объем воздуха из легких через трубку с загубником. После этого производится взвешивание испытуемого в подводном положении и подъем испытуемого. По разнице веса испытуемого в подводном и надводном положении рассчитывается удельный вес тела испытуемого и соотношение его жировой и безжировой массы.

Нетрудно понять, что круг испытуемых, которые могут быть обследованы по этой методике, ограничен — только лица, способные уверенно задерживать дыхание на 1–1,5 минуты. Поэтому широкого использования в медицинской практике метод гидроденситометрии не получил.

1.2.4. Воздушная плетизмография

Рис. 1.11. Устройство для воздушной плетизмографии

Эксплуатационные неудобства подводного взвешивания удалось преодолеть в методе воздушной плетизмографии. Пациент помещается в герметичную капсулу (рис. 1.11), внутри которой производится оценка объема тела и остаточной емкости легких. Значения жировой и безжировой массы рассчитываются из средней плотности тела — отношения массы и объема. Этим методом можно исследовать широкий круг здоровых и больных. По точности оценки жировой массы метод немного уступает гидроденситометрии. Ограничения для пациентов связаны с переносимостью перепада атмосферного

давления. Кроме того, погрешности измерения могут возникнуть в случае отсутствия конечностей или наличия металлических конструкций в костях, газов в кишечнике. Имеются устройства как для взрослых, так и для новорожденных и детей. В отечественном здравоохранении применяется редко из-за высокой стоимости оборудования.

1.2.5. Метод разведения индикаторов

Этот метод использовался в клинической практике для оценки объемов жидкостных секторов (общей, внеклеточной и внутриклеточной жидкости) в середине XX века. Информация о гидратации организма необходима для формирования тактики лечения в интенсивной терапии, нефрологии, кардиологии и других областях. В сосудистое русло пациента вводится предварительно измеренный объем раствора, в котором в известной концентрации содержится метка — изотоп или химическое вещество. Через определенный отрезок времени (2–4 часа), за который метка равномерно распределяется в исследуемом секторе водного пространства, осуществляется забор венозной крови и определяется концентрация введенной метки. Производится расчет объема исследуемого водного пространства.

Инвазивность и лучевая (или химическая) нагрузка на пациента, длительность процедуры исследования не способствовали широкому распространению этого метода в клинической практике. В настоящее время метод изредка используется в качестве референтного для уточнения формул оценки состава тела.

1.2.6. Определение естественной радиоактивности всего тела

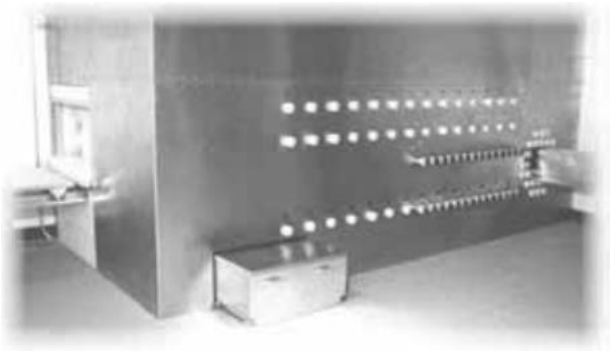


Рис. 1.12. Нейтронный облучатель исследовательского центра по проблемам детского питания (CNRS), Хьюстон, США

Главным источником естественной радиоактивности тела человека является изотоп калия ^{40}К. Относительное содержание данного изотопа как в организме человека, так и в окружающей среде весьма стабильно и составляет около 0,012 % от массы всех изотопов калия. Это дает возможность использовать результаты измерений естественной ра-

диоактивности всего тела для оценки общего содержания калия в организме. В связи с тем, что свыше 98 % калия в теле человека локализовано во внутриклеточном пространстве, данный показатель используется в качестве эталона для оценки клеточной массы тела. Как правило, определение естественной радиоактивности всего тела является частью методики нейтронно-активационного анализа. Время обследования пациента составляет от 15 до 39 минут в зависимости от возраста и технических характеристик оборудования (внешний вид одной из таких установок показан на рис. 1.12). К сожалению, в России до настоящего времени не закуплено оборудование, на котором выполняются подобные исследования, ввиду его высокой стоимости.

1.2.7. Рентгеновские методы и МРТ

Современные модификации аппаратов лучевой диагностики: рентгеновских денситометров и томографов, а также магнитно-резонансных томографов (на рис. 1.13 изображены модели вышеперечисленных приборов) — имеют программные опции, позволяющие оценивать жировую, безжировую и минеральную массу тела. Однако следует помнить о некоторых особенностях этих методик, ограничивающих их применимость в здравоохранении: лучевая нагрузка, высокая стоимость аппаратуры и исследования, ограниченные по длине и ширине размеры площадки съема информации. Например, в компьютерном томографе можно за один проход исследовать объект длиной не выше 172 см.

Рис. 1.13. Установка для рентгеновской денситометрии [4] (слева), рентгеновский компьютерный томограф [5] (в центре) и магнитно-резонансный томограф [6] (справа)

1.2.8. Прямая и непрямая калориметрия

Рис. 1.14 Устройство для непрямой калориметрии Cosmed Quark RMR, Италия [7]

Калориметрия — общее название методов количественного определения тепла, выделившегося или поглощенного при разного рода физических или химических явлениях. Единицей измерения тепловой энергии является джоуль или калория. Разделяют прямую и непрямую калориметрию: при проведении прямой калориметрии измеряется непосредственно выделяемое тепло, при непрямой калориметрии теплообразование в организме оценивают по газообмену — потреблению O_2 и образованию CO_2. Приборы для непрямых калориметрических измерений принято называть метаболографами.

При проведении непрямой калориметрии пациента помещают в капсулу-чехол или надевают на него вентилируемый шлем либо маску с присоединенной системой сбора выдыхаемого воздуха. Непрямые методы менее точны, но могут быть использованы для оценки энергозатрат при активных движениях. На рис. 1.14 показан метаболограф Cosmed Quark RMR, Италия.

Лекция 2.
БИОИМПЕДАНСНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ТЕЛА

Биоимпедансный анализ состава тела человека сочетает в себе возможность неинвазивно за 2–3 минуты получить данные о широком спектре компонент состава тела, используя относительно недорогую аппаратуру и легко воспроизводимую в условиях лечебного учреждения или в домашних условиях процедуру. Результаты анализа позволяют охарактеризовать состояние белкового, липидного, водного, минерального обмена и скорость метаболических процессов.

Манипуляции, совершаемые медицинским персоналом в процессе измерений, не выходят за рамки привычных для отделений функциональной диагностики: измерение веса, роста, обхватов талии и бедер, наложение кардиографических электродов на конечности. Уровень комфортности для пациента также сопоставим с несложными кардиографическими исследованиями: пациент лежит на спине с отведенной в сторону правой рукой, на кисть и стопу накладываются четыре электрода.

Алгоритм оценки состава тела в биоимпедансном анализе состоит из следующих операций.

1. Измеряются рост, вес, окружности талии и бедер, активное и реактивное сопротивления.

2. По соответствующим формулам рассчитываются значения параметров состава тела и метаболических коррелятов (основного обмена и фазового угла).

3. На основании сведений о половой принадлежности и возрасте пациента рассчитываются значения границ диапазонов нормальных значений компонент состава тела (и других градаций, если таковые заложены в программе расчета).

4. Производится сопоставление расчетных значений компонент состава тела и соответствующих интервалов нормальных значений.

5. По совокупности анализа всех данных вырабатывается медицинское суждение — диагноз, планируется тактика лечебных или реабилитационных воздействий, оцениваются риски заболеваний и резервные возможности организма.

Примерно по такой же схеме строилась процедура оценки компонент состава тела на основе антропометрических измерений. С этой точки зре-

ния расчеты, основанные на данных биоимпедансных измерений, заменяют антропометрические расчеты, использующие результаты измерений обхватов и длин участков тела.

Биоимпедансный анализ состава тела на протяжении тридцати лет является одной из самых распространенных технологий анализа состава тела, что объясняется широким спектром оцениваемых параметров, неинвазивностью, отсутствием лучевых нагрузок, быстротой получения результатов исследования и привычностью для среднего медперсонала элементов процедуры исследования. По результатам поиска в интернете, на начало 2015 года на мировом рынке существует более 85 моделей биоимпедансных анализаторов состава тела, двумя моделями представлены отечественные анализаторы. Сложились направления в медицине, где использование биоимпедансных анализаторов стало массовым: диетология, интенсивная терапия, гемодиализ, спортивная медицина, профилактические обследования, косметология.

2.1. Физические основы метода

Электрическим импедансом или ***биоимпедансом***, если объект измерения имеет биологическое происхождение, называют пару чисел: активное сопротивление (R) и реактивное сопротивление (Xc). *Активное сопротивление* биологического объекта, а в биоимпедансном анализе таким объектом является участок тела человека между правой кистью и правой стопой, складывается из электрических сопротивлений всех жидкостей, расположенных на пути измерительного тока. *Реактивным сопротивлением* биологического объекта называют общее емкостное сопротивление всех клеточных мембран, расположенных на пути измерительного тока. Оба эти сопротивления измеряются специальными медицинскими приборами — биоимпедансными анализаторами состава тела.

К середине XX века были опубликованы результаты многочисленных работ по исследованию электрической проводимости различных тканей человека и животных. В табл. 2.1 указаны типичные значения удельного сопротивления основных биологических тканей.

Было также известно, что при прохождении постоянного электрического тока через образец мышечной ткани электрическое сопротивление зависит лишь от проводимости внеклеточной среды. С точки зрения

Таблица 2.1. Типичные значения удельного электрического сопротивления некоторых биологических тканей (Шван, Фостер, 1980; Уэбб, 1991)

Биологическая ткань	Удельное сопротивление, Ом × м
Спинномозговая жидкость	0,65
Кровь	1,5
Нервно-мышечная ткань	1,6
Легкие без воздуха	2,0
Скелетные мышцы	3,0
Печень	4,0
Кожа	5,5
Легкие при выдохе	7,0
Легкие при вдохе	23,0
Костная ткань	150,0

биофизики это легко объяснимо, так как клеточные мембраны, состоящие из фосфолипидов, обладают весьма низкой проводимостью. Переменный синусоидальный ток распространяется и по внутриклеточному пространству, с повышением частоты плотность тока во внеклеточном и внутриклеточном пространствах стремится выровняться.

В области низких частот переменного тока импеданс практически совпадает с величиной активного сопротивления, а реактивное сопротивление близко к нулю. При увеличении частоты тока реактивное сопротивление возрастает до определенного максимума, соответствующего характеристической частоте f_c. При дальнейшем увеличении частоты реактивное сопротивление уменьшается, и в пределе импеданс будет снова равен активному сопротивлению. На рис. 2.1 видно, что при изменении частоты синусоидального тока меняется угол между векторами импеданса и активного сопротивления. Этот угол получил название *фазового угла* и вычисляется как арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений: $\varphi(\text{град}) = (180/\pi)\text{arctg}\,(Xc/R)$.

2.2. Тетраполярная схема измерения импеданса

Указанное в табл. 2.1 значение удельного сопротивления кожи относится к живым клеточным структурам кожи. Ее поверхностные слои состоят из высохших клеток эпителия, обладающих более высокими значениями удельного сопротивления, и общее сопротивление кожи варьируется в широких пределах, в зависимости от толщины поверхностного слоя.

Рис. 2.1. Зависимость величины импеданса от частоты зондирующего тока (Heymsfield et al., 2005)

Решение задачи измерения электрического сопротивления внутренних тканей организма с электродов, расположенных на поверхности кожи, не нарушая ее целостность, было заимствовано медициной в середине XX века из работ по электроразведке полезных ископаемых в геологии.

В общепринятом методе измерения сопротивления используют два электрода. На рис. 2.2 вверху изображен участок приповерхностных тканей, где верхний слой образует кожа (отмечена косой штриховкой). К контактирующим с кожей электродам параллельно подключены генератор зондирующего тока и измеритель напряжения. Значение амплитуды зондирующего тока поддерживается постоянным с высокой точностью. В этом случае, согласно закону Ома, по которому R = U/I, значение сопротивления пропорционально значению измеренного падения напряжения.

Область измерения примерно ограничена сегментами окружностей и закрашена серым цветом. На рисунке видно, что область измерений захватывает и участки кожных покровов под электродами. Таким образом, последовательно с сопротивлением внутренних тканей измеряется удвоенное значение сопротивления кожи. Этот метод называют *биполярным* или *двухэлектродным*.

Если дополнительно поставить еще два электрода, как показано в нижней части рис. 2.2, и измерительную цепь замкнуть на них, электрические цепи измерителя напряжения и генератора тока разделятся. Область измерения биоимпедансных параметров в этом случае сузится, справа и слева она будет ограничена эквипотенциальными линиями, проходящими

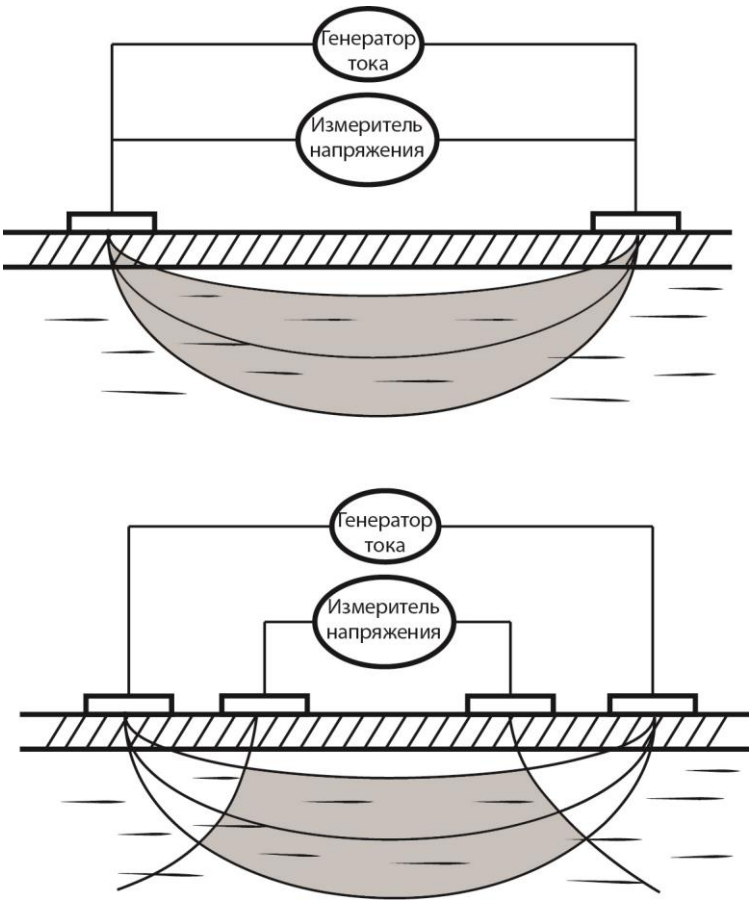


Рис. 2.2. Две схемы электродных систем и измерительных цепей, применяемых при биоимпедансных измерениях: биполярный метод — вверху, тетраполярный метод — внизу. Видно, что при тетраполярном подключении в зону, в которой измеряется сопротивление (обозначена серым цветом), кожа (обозначена косой штриховкой) не попадает

через измерительные электроды. На рисунке видно, что при такой конфигурации электродной системы сопротивления кожных покровов не войдут в область измерения. Такой метод принято называть *тетраполярным* или *четырехэлектродным*.

Тетраполярный метод позволяет создавать не примыкающие к поверхности, на которой крепятся электроды, области измерений различной конфигурации. Им широко пользуются не только в биоимпедансном анализе состава тела, но и в ряде других медицинских диагностических технологий, в частности в различных реографических методиках.

2.3. История разработки биоимпедансных анализаторов

Пионерская работа, в которой параметры электрического импеданса были связаны с параметрами состава тела, выполнена и опубликована в

1962 году. Ее автором стал французский анестезиолог А. Томассет (A. Thomasset). Суть исследования заключалась в том, что, после предварительной оценки общей и внеклеточной жидкости организма методом разведения индикаторов, были измерены сопротивления тканей пациентов между кистью левой руки и стопой правой ноги. На основе результатов этих исследований были получены формулы вычисления объемов общей ($V_о$) и внеклеточной ($V_в$) жидкостей:

$$V_о = AT^2/R_{1000} \text{ и } V_в = BT^2/R_5,$$

где А и В — постоянные коэффициенты, Т — рост, R_{1000} — сопротивление на частоте 1000 кГц, R_5 — сопротивление на частоте 5 кГц.

Начиная с 1963 года, когда работа Томассета была опубликована на английском языке, во многих ведущих лабораториях мира исследования были продолжены. А в 1979 году американская фирма RJL Systems начала серийное производство первого биоимпедансного анализатора состава тела BIA 101 (рис. 2.3, слева).

Первоначально предполагалось, что исследования на этом приборе будут проводиться следующим образом. После подключения прибора к наложенным на пациента электродам нажимается тумблер на приборе, и на дисплее прибора высвечиваются значения активного и реактивного сопротивлений. Далее следовало с помощью калькулятора рассчитать значения компонент состава тела по прилагаемым формулам. Если бы в те же годы не получили широкого распространения персональные компьютеры, методика осталась бы весьма слабо востребована. Но уже в начале 1980-х годов были написаны программы, в которые достаточно было ввести с клавиатуры значения R, Xc и антропометрических данных. Все вычисления были автоматизированы, и врачу предъявлялся на экране монитора и распечатывался протокол, содержащий весь набор значений компонент состава тела, метаболических коррелятов и соответствующих каждому показателю границ нормальных значений. Такое техническое решение сделало методику удобной в амбулаторной практике, и в последующие годы были разработаны более ста моделей биоимпедансных анализаторов состава тела. Что касается BIA 101, он выпускался до 1989 года, с переходом на следующую модель фирма RJL Systems продала лицензию на его производство итальянской фирме Akern, которая еще 15 лет снабжала им европейских пользователей.

Рис. 2.3. Биоимпедансные анализаторы: BIA 101 [8] (слева), Tanita SC-240 [9] (в центре), BF-360 Omron [10] (справа)

Первыми на российский рынок поступили японские приборы фирм Tanita и Omron (см. рис. 2.3), которые в начале 1990-х годов в России были признаны немедицинскими изделиями. Действительно, весы с электродами только для ног обеспечивают измерение сопротивления от стопы до паха и не позволяют получить информацию о тканях, расположенных выше. Прибор фирмы Omron измеряет только сопротивление рук и верхней части туловища. Оба прибора могут давать достоверные оценки жировой массы молодого, гармонично развитого человека, но с возрастом, как правило, возникают индивидуальные особенности жироотложения, и достоверность оценок снижается.

На рис. 2.4 показаны несколько моделей биоимпедансных анализаторов состава тела, использующих отведение кисть — стопа. Около 85 % исследований в мире производится по такой методике.

Отечественные анализаторы фирм «МЕДАСС» и «Диамант» представлены на рис. 2.5.

Рис. 2.4. Биоимпедансные анализаторы: Bodystat 1500MDD (Bodystat Ltd., UK) [11] (слева), Quantum X (RJL Systems, Inc., USA) [12] (в центре), BIA 450 (Biodynamics Corporation, USA) [13] (справа)

Рис. 2.5. Отечественные биоимпедансные анализаторы: «АВС-01 МЕДАСС» (слева) и «Диамант» (справа)

В другой модификации биоимпедансной аппаратуры, биоимпедансных анализаторах, совмещенных с электронными весами, используются отведения со всех четырех конечностей. На рис. 2.6 показаны приборы южнокорейской фирмы InBody, японской Tanita и американской Valhalla. На рисунке видно, что в каждом из них имеются электроды-площадки для контакта со стопами и контактные рукоятки для кистей. Особенность этих приборов в том, что пациент исследуется в состоянии стоя. Рассмотрим, как это отражается на результатах анализа состава тела.

У человека есть одно состояние — лежа на спине, с достаточно точно повторяемой картиной распределения венозной крови между регионами. В позе стоя происходит постепенное повышение заполненности венозных сосудов нижних конечностей, масштаб которого в каждый момент неизвестен, так как зависит от времени нахождения в вертикальном состоянии, наличия заболеваний сосудов венозной системы ног. Это привносит дополнительную погрешность в значения параметров состава тела, особенно если цель исследования — оценить изменения за небольшой промежуток времени (в диетологии это три-четыре недели), оценить эффективность выбранной тактики лечения и скорректировать ее при необходимости.

Врачи, работавшие с анализаторами обеих модификаций, формулируют следующие доводы в пользу методики, при которой пациент лежит на спине:

1. В позе лежа на спине пациенту проще, чем в положении стоя, придать повторяемую при последующих исследованиях позу, так как он расположен в одной плоскости. Стоящий на ногах человек имеет

Рис. 2.6. Полисегментные биоимпедансные анализаторы, совмещенные с весами: Tanita BC-418 (слева), InBody 720 (в центре), Valhalla BCS-3 (справа)

больше степеней свободы: в момент измерения опорной может быть любая нога, варьируется изгиб позвоночника и в двух плоскостях — углы в плечевых и локтевых суставах. Перечисленные факторы вносят дополнительную неконтролируемую случайную погрешность в результаты оценки параметров состава тела.

2. Фиксированное расстояние между ступнями и вертикальная поза тучного пациента затрудняют выполнение требования электрической изоляции всех участков ног от ступни до паха.
3. Использование восьми металлических контактных площадок в приборах, исследующих пациента в положении стоя, требует от врача выполнения дополнительных манипуляций по стерилизации после проведения каждого исследования во избежание переноса грибковых заболеваний. Наклеивание одноразовых электродов при исследовании в положении лежа на спине решает эту проблему тем же способом, который принят в кардиографии, функциональной диагностике.

Таким образом, использование приборов с вертикальным положением пациента более подходит для разовых, не претендующих на максимальную точность исследований.

2.4. Классификация биоимпедансных анализаторов

Классификацию биоимпедансных анализаторов принято осуществлять по следующим признакам: по зонам биоимпедансных измерений, по используемому набору частот зондирующего тока, по тактике проведения измерений.

По зонам биоимпедансных измерений принято различать анализаторы со следующими способами подключения электродных систем. Профессиональные анализаторы используют *интегральные* отведения «рука — туловище — нога» или «две руки — туловище — две ноги» для определения состава тела всего организма. Однако возможности биоимпедансного анализа не ограничиваются оценкой интегральных параметров состава тела.

Описаны возможности исследования *локальных* параметров гидратации, кровенаполнения и содержания жировой ткани в отдельных участках тела, ограниченных электродами. Так в стоматологии определяют степень гидратации десны при пародонтитах, пародонтозах, в интенсивной терапии — степень гидратации головного мозга, жироотложение в абдоминальной области.

При выполнении серии последовательных измерений сопротивления между кистями и стопами конечностей существует возможность оценки содержания жидкости, безжировой и жировой массы рук, ног и туловища. Этот метод принято называть *полисегментным* исследованием состава тела.

На рис. 2.7 схематически изображены места наложения электродов и расположение исследуемых зон организма, описанные в публикациях по биоимпедансному анализу. На этом рисунке незакрашенные зоны силуэтов человека соответствуют областям, не влияющим на результаты измерений. Зоны, закрашенные разными градациями серого цвета, соответствуют выделяемым в полисегментных исследованиях регионам тела человека. Места установки токовых электродов обозначены окружностями, закрашенными внутри, потенциальных электродов — незакрашенными.

На схеме 1 данного рисунка изображено диагональное подключение электродов, использованное А. Томассетом; 2 — стандартное отведение кисть — стопа по доминирующей стороне; 3 — отведение по Тищенко, используемое отечественными анализаторами фирмы «Диамант»; 4 — «правая стопа — левая стопа» фирмы Tanita; 5 — схема «кисть правой руки — кисть левой руки», применяемая в анализаторах фирмы Omron; 6 — полисегментное отведение с пятью исследуемыми регионами, используе-

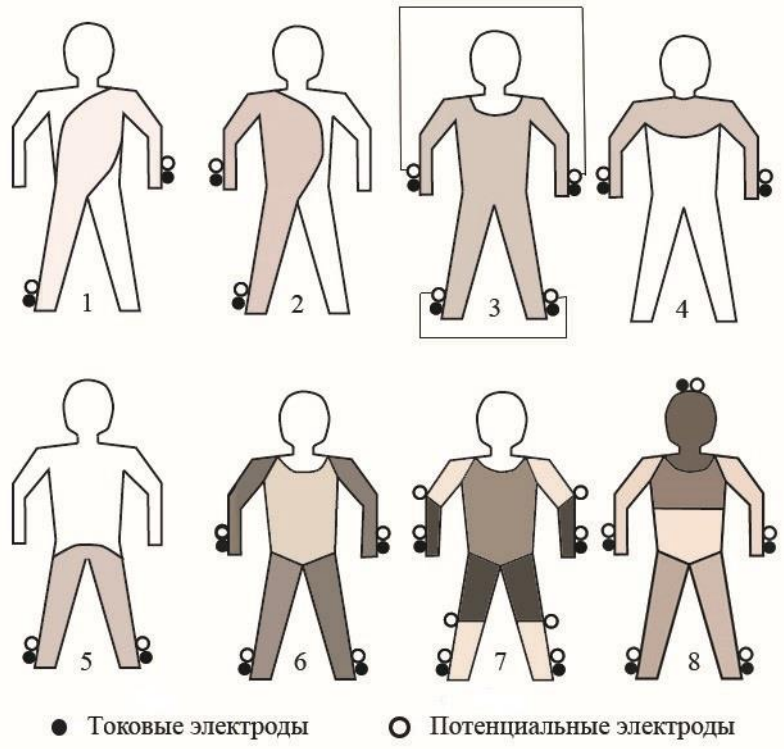


Рис. 2.7. Схемы расположения токовых и потенциальных электродов. Зоны чувствительности восьми наиболее употребительных методик биоимпедансного исследования состава тела

мое в анализаторах фирм «МЕДАСС», InBody и Tanita; 7 — девятисегментная схема фирмы «МЕДАСС» с разбиением конечностей; 8 — семисегментная схема фирмы «МЕДАСС» с разбиением туловища на торакальную и абдоминальную части.

Следует отметить, что в полисегментных методиках еще не получены нормы параметров состава тела для регионов, и они используются в основном для исследования динамики перераспределения жидких сред в ходе медицинских манипуляций — инфузионно-трансфузионной терапии, нагрузочных тестов, а также в период реабилитации после травм и хирургических операций. При наличии одной из парных конечностей в сохранном состоянии ее компонентный состав используют в качестве ориентира для сравнения с поврежденной конечностью. У здорового человека значения отклонений от симметрии параметров состава тканей конечностей, как правило, не превышает 1–1,5 %. В спортивной медицине описаны случаи асимметрии рук до 3 % в тех видах спорта, где нагрузка между руками распределена неравномерно, — в фехтовании, теннисе, метании копья и пр.

По использованию частот зондирующего тока методы биоимпедансных исследований разделяют на одночастотные, двухчастотные и многочастотные. Верифицированные формулы расчета компонент состава тела (к середине 1990-х годов их было опубликовано более 50), ориентированы на частоты 50 и 5 кГц. *Одночастотная методика*, использующая частоту 50 кГц, позволяет оценить все компоненты состава тела, кроме внеклеточной жидкости. *Двухчастотные методики* охватывают все параметры. *Многочастотные методики* используются в специальных анализаторах, контролирующих гидратацию тканей пациентов с нарушением функции почек и служат для дополнительной оценки достоверности измерений.

По тактике исследования различают *разовые* экспресс-исследования, когда оцениваются с промежутками в несколько дней или недель медленно меняющиеся параметры, и *мониторные* исследования, выполняемые с автоматически заданными интервалами времени порядка нескольких секунд или минут, например, при исследованиях изменений гидратации головного мозга или динамики перераспределения жидкости в нагрузочных тестах.

2.5. Результаты биологических исследований, на которых основаны расчеты жировой и безжировой массы в биоимпедансном анализе

Прямой метод исследования состава тела человека может быть осуществлен только в эксперименте *in vitro*. Результаты такого исследования опубликованы лишь один раз, в 1953 году. Из измельченных фрагментов девяти трупов выпариванием была удалена вода, затем петролейным эфиром отогнаны жиры. Для каждого субъекта этого исследования, как и ожидалось, были получены свои значения жировой массы, воды и сухого остатка. Обращала на себя внимание только одна величина — соотношение общей жидкости и безжировой массы, значения которой для всех субъектов исследования не выходили из достаточно узкого диапазона. Публикация данных этого исследования послужила толчком для многочисленных экспериментальных работ на животных, в ходе которых была получена константа гидратации безжировой массы млекопитающих — 73±1,5 %. Это соотношение общей воды организма и безжировой массы справедливо для здорового половозрелого млекопитающего. На рис. 2.8 представлен график изменений гидратации безжировой массы человека в зависимости

от возраста. На графике видно, что у новорожденных значения гидратации составляют около 80 % и к возрасту 15–17 лет снижаются примерно до 73 %.

Абсолютное большинство анализаторов состава тела используют это соотношение, чтобы вычислить значение безжировой массы из оценки общей жидкости (БМТ = ОЖ/0,73), где оценка общей жидкости организма получена по уточненной формуле Томассета. Расчет жировой массы сводится к вычислению разности между весом и безжировой массой: ЖМТ = Вес – БМТ.

Расчетные формулы для остальных компонент состава тела получены из корреляционных соотношений между оценками методов золотого стандарта и входными параметрами биоимпедансного анализа: ростом, весом, полом, значениями активного и реактивного сопротивления на стандартных частотах измерения.

Для понимания связи между входными и выходными параметрами биоимпедансного анализа удобно их сгруппировать следующим образом.

Только от активного сопротивления на частоте 50 кГц зависят: общая вода организма, безжировая масса, жировая масса, скелетно-мышечная масса.

От активного и реактивного сопротивлений на частоте 50 кГц зависят: активная клеточная масса, основной обмен, удельный основной обмен и фазовый угол.

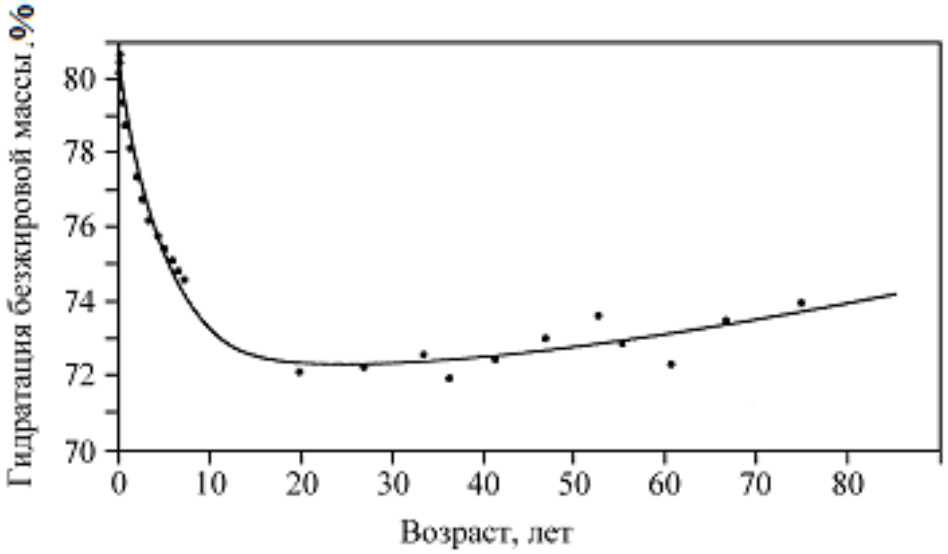


Рис. 2.8. График гидратации безжировой (тощей) массы человека в зависимости от возраста (Heymsfield et al., 2000)

От активного сопротивления на частоте 5 кГц зависят значения внеклеточной жидкости организма. Значения внутриклеточной жидкости рассчитываются как разность между общей и внеклеточной жидкостью.

2.6. Верификация биоимпедансных оценок состава тела

Метод биоимпедансного анализа состава тела не является прямым: на входе он использует данные роста, общей массы организма и трех сопротивлений, на выходе — расчетные значения масс и объемов нескольких видов биологических тканей организма, оценки скорости метаболических процессов. Верификации расчетных формул посвящены многочисленные исследования, результаты которых были опубликованы в 1990–2000 годах и отражены в обзорной работе Kyle et al. (2004). В табл. 2.2 приведены результаты верификации биоимпедансных исследований, выполненных относительно данных рентгеновской денситометрии.

На рис. 2.9 изображены результаты верификационных исследований, проведенных в 2004–2008 годах на базе Института питания РАМН. Верификация оценки жировой массы производилась по данным рентгеновской денситометрии. Получено чрезвычайно высокое значение коэффициента корреляции (более 0,93). Верификация оценки основного обмена проводилась относительно данных исследования по методике непрямой калориметрии. Значение коэффициента корреляции 0,818 соответствует результатам, полученным итальянскими и другими исследователями.

Таблица 2.2. Результаты верификации данных безжировой массы, полученных биоимпедансными анализаторами, относительно данных рентгеновской денситометрии

Обследованный контингент	**Источник**	**n**	**r^2**	**Биоимпедансный анализатор**
Здоровые люди обоего пола 20–94 лет	Kyle et al. (2001)	343	0,97	Xitron
Здоровые индивиды обоего пола	Kotler et al. (1996)	206	0,92	RJL-101
Пожилые женщины	Roubenoff et al. (1997)	294	0,77	RJL-101
Пожилые мужчины	Roubenoff et al. (1997)	161	0,72	RJL-101

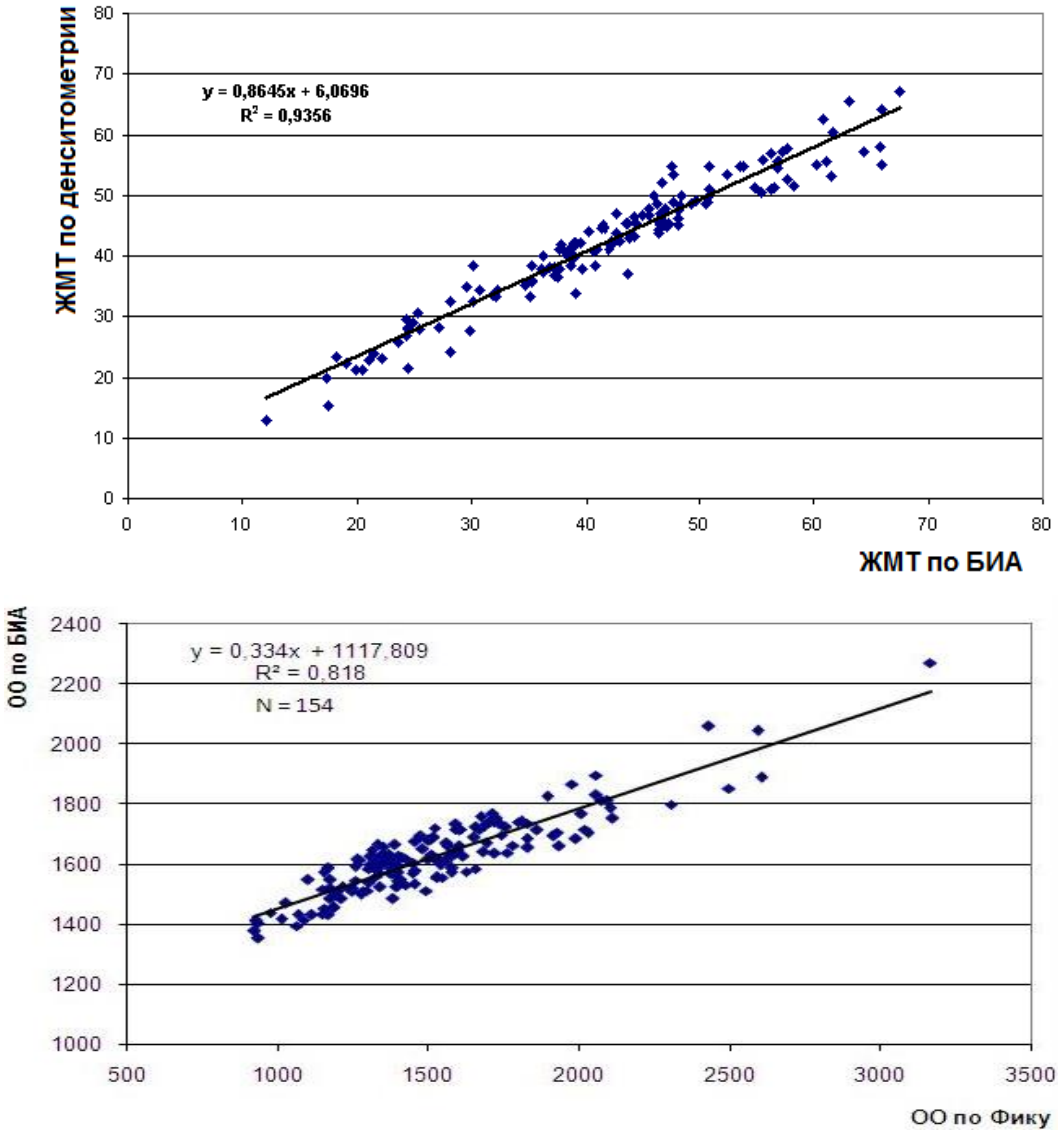


Рис. 2.9. Сопоставление оценок жировой массы (кг) биоимпедансным методом (по горизонтали) и денситометрическим методом (по вертикали), НИИ питания РАМН, 2005 — сверху. Сопоставление биоимпедансной оценки ОО (по вертикали) с оценкой по методу непрямой калориметрии (по горизонтали), НИИ питания РАМН, 2008 — снизу

Лекция 3.
МЕТОДИКА БИОИМПЕДАНСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ТЕЛА

3.1. Комплект оборудования и компоновка рабочего места

Общие требования к помещению, в котором проводятся исследования, могут быть сформулированы следующим образом.

Температура в помещении должна быть в пределах 18–25 °С.

Для проведения измерений необходимы:

— биоимпедансный анализатор состава тела, подключенный к персональному компьютеру с установленным программным обеспечением;

— набор одноразовых биоадгезивных электродов;

— медицинские весы с погрешностью измерений не более 0,1 кг;

— ростомер с погрешностью не более 0,5 см;

— сантиметровая измерительная лента;

— кушетка;

— принтер для распечатки протоколов биоимпедансного обследования.

Кушетку устанавливают так, чтобы выполняющий измерение мог подойти к пациенту с правой стороны. Кушетка должна быть достаточно широкой: во время измерений находящийся на ней пациент не должен касаться стены и окружающих предметов. На кушетку необходимо постелить хлопчатобумажную простыню во избежание повреждения входных цепей анализатора искрами статического электричества. Биоимпедансный анализатор устанавливают так, чтобы кабель пациента без натяжения дотягивался до правой кисти и правой стопы обследуемого. Длина интерфейсного кабеля между компьютером и анализатором не должна превышать 1,8 м.

Пример правильно оборудованного рабочего места для измерений показан на рис. 3.1, а на рис. 3.2 приведен вариант обследования тучной пациентки на двух сдвинутых вместе медицинских кушетках.

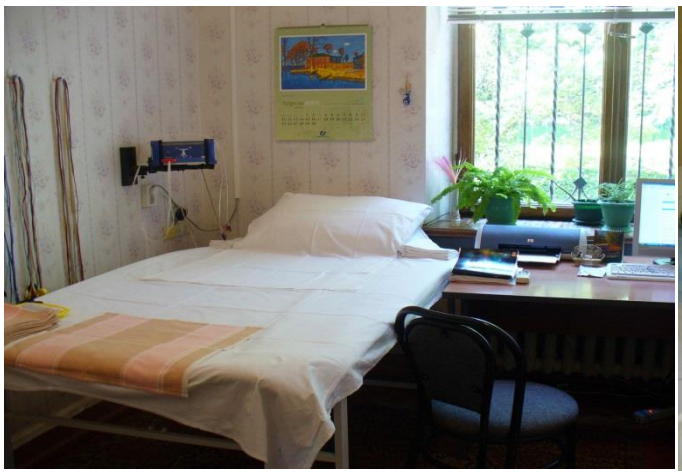


Рис. 3.1. Вариант компоновки рабочего места для биоимпедансных измерений (кабинет диетолога, санаторий им. Дзержинского, Сочи, 2005 г.)

Рис. 3.2. Биоимпедансное обследование пациентки с ожирением на двух сдвинутых вместе медицинских кушетках (НИИ питания РАМН, Москва, 2004 г.)

3.2. Проверка исправности биоимпедансного анализатора

В большинстве биоимпедансных анализаторов состава тела предусмотрен периодический контроль работоспособности и точности измерений параметров импеданса (например, один раз в неделю). Для этого используется проверочное устройство, входящее в комплект поставки анализатора (рис. 3.3). Поводом провести дополнительный проверочный тест может служить перенос анализатора на новое место, начало его использования после длительного простоя или возникшие сомнения в правильности получаемых результатов.

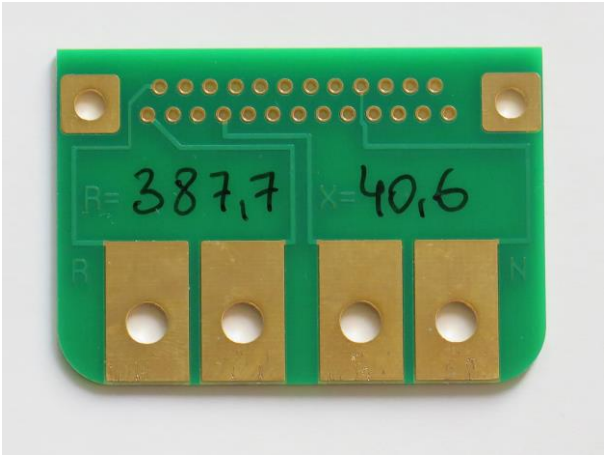


Рис. 3.3. Проверочное устройство биоимпедансного анализатора «АВС-01 МЕДАСС»

Проверочное устройство представляет собой стеклотекстолитовую пластину с небольшим количеством электронных компонент и проводящими контактными площадками для крепления кабеля пациента. Токовые (красные) разъемы кабеля крепятся с наружных сторон. Проверочное устройство кладется на непроводящую поверхность (например, на крышку

стола), провода кабеля пациента разводят на максимальное расстояние друг от друга и производят измерение. Результат измерений оценивают по значениям R50, Xc50 и R5. Считается, что анализатор, программное обеспечение и кабель пациента находятся в исправном состоянии, если значения R50 и Xc50 отклоняются от значений, указанных на проверочном устройстве, не более чем на 1–1,5 %. Значение R5 должно быть больше, чем R50.

Если в результате проверки оказалось, что прибор функционирует исправно, но при этом результат обследования пациента значительно отличается от ожидаемого, то измерения следует повторить, тщательно соблюдая протокол обследования и попутно анализируя возможные причины наблюдаемых отклонений (например, изменение статуса гидратации вследствие приема лекарственных препаратов, наличие хронических заболеваний и др.).

3.3. Подготовка пациента

Единственным противопоказанием к проведению биоимпедансного обследования является наличие у пациента вживленного кардиостимулятора.

Идеальное время для проведения биоимпедансных измерений — утром до завтрака, натощак. Во избежание получения несопоставимых результатов не следует допускать к обследованию пациентов сразу после спортивной тренировки, интенсивной физической работы, физиотерапевтических процедур, приема гормональных и диуретических средств, алкогольных напитков и в течение 2,5–3 часов после приема пищи. Исследование не проводят при выраженных отеках конечностей (возникающих, например, при травме). При наличии металлических имплантатов в костях правых конечностей исследование проводят на левой стороне тела (если левые конечности сохранны).

Одежда пациента должна быть сухой. На время исследования необходимо удалить металлические предметы с правой стороны тела (например, цепочку или браслет на руке или ноге). Металлическую цепочку на шее можно поднять до уровня подбородка. Ушные серьги и кольца на руках не мешают исследованию, так как находятся вне зоны прохождения измерительного тока.

В момент измерений пациент должен находиться на кушетке в положении лежа на спине. Угол между плечом правой руки и вертикальной осью туловища должен составлять 45°, предплечье правой руки располагают параллельно вертикальной оси туловища, ноги на ширине плеч. Если при этом не обеспечивается полное отсутствие касания кожи ног, а также рук и туловища, то участки касания следует изолировать сложенной в несколько раз сухой хлопчатобумажной тканью.

3.4. Установка электродов

В биоимпедансном анализе состава тела принято использовать одноразовые биоадгезивные (т. е. самоклеящиеся) кардиографические электроды под «крокодил» — например, выпускаемые фирмами Schiller и FIAB с контактной площадкой размером 23 × 23 мм. При обследованиях детей до 8–9 лет эти электроды разрезают пополам вдоль оси симметрии. В отличие от кардиографических исследований, в которых место установки электродов на конечностях жестко не регламентировано, в биоимпедансном анализе локализация электродов непосредственно влияет на точность измерений, так как определяет объект измерений. Во избежание увеличения погрешности измерений одноразовые электроды не должны быть просроченными или высохшими из-за долгого хранения вне упаковки.

В биоимпедансных исследованиях применяется тетраполярная (четырехэлектродная) схема измерений, при которой одна пара электродов устанавливается на кисти испытуемого, а вторая — на стопе. В каждой паре один из электродов является проводником зондирующего тока (токовый электрод), а другой служит для измерения разности потенциалов на исследуемом участке тела (потенциальный электрод). Рассчитываемое по закону Ома сопротивление участков тела (внутренних органов и тканей), лежащих между двумя парами электродов, практически не зависит от сопротивления кожи (см. п. 2.2). Обычно токовыми электродами назначают наружную пару дистально расположенных электродов, подсоединяя к ним контакты источника тока. В этом случае внутренняя пара электродов является потенциальной, или измерительной. Контакты источника тока всегда имеют красный цвет, а измерительной цепи — черный.

На рис. 3.4 показана стандартная схема установки биоадгезивных электродов на кисти и стопе пациента. Измерительные (потенциальные)

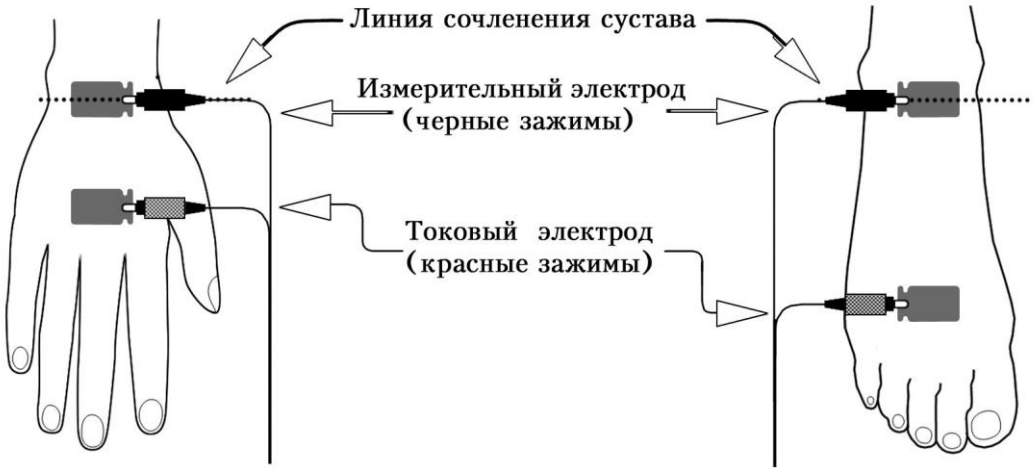


Рис. 3.4. Схема расположения измерительных (потенциальных) и токовых электродов на кисти и стопе пациента

электроды устанавливают так, чтобы межкостные щели между кистью и предплечьем, а также голенью и стопой пациента находились строго под осью симметрии электрода. Токовые электроды на кисти и стопе устанавливают дистально на расстоянии 4–5 см от измерительных электродов.

В программном обеспечении анализатора осуществляется контроль сопротивления подэлектродного контакта. При выходе за пределы допустимых значений на экране монитора выдается предупреждение: «Поправьте электроды». Чаще всего такая ситуация связана с наличием сухого слоя эпителия в месте наложения одного из электродов. Нежелательный эффект устраняется смачиванием сухого участка кожи физиологическим раствором. Другими причинами могут служить загрязнение контактов кабеля пациента или высыхание биоадгезивных электродов.

Использование одноразовых биоадгезивных электродов с меньшей площадью контактной площадки может привести к потере точности биоимпедансных измерений, а применение многоразовых реографических электродов может давать несопоставимые результаты вследствие вероятности сдвига контактных площадок при неконтролируемых движениях кисти или стопы пациента в ходе измерений.

3.5. Порядок измерений

Типичная последовательность действий персонала при выполнении биоимпедансного обследования показана в виде блок-схемы на рис. 3.5.

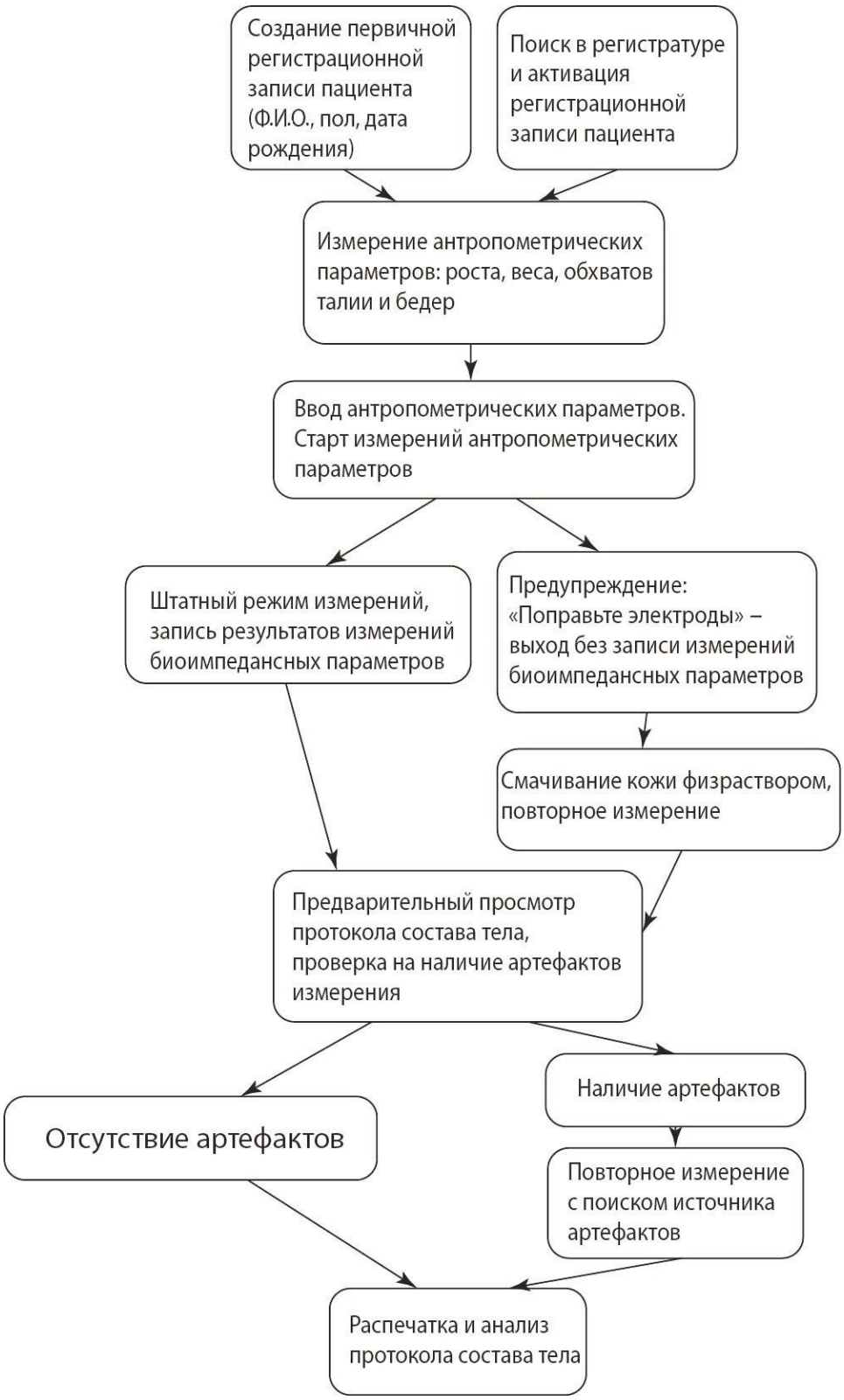


Рис. 3.5. Схема последовательности действий врача при выполнении биоимпедансного обследования пациента

Перед началом исследования требуется завести учетную карточку пациента, в которой указать его Ф. И. О., дату рождения и пол. Если учетная запись уже имеется, то в списке пациентов находят и выделяют кликом

мыши нужную фамилию. В меню «Измерение» вносят значения предварительно измеренных антропометрических параметров: рост, вес, обхваты талии и бедер. Затем пациенту накладывают электроды, придают позу для измерений и, проконтролировав соблюдение условий, описанных в п. 3.3–3.4, проводят измерения и запись результатов.

Возможны три ситуации, при которых выполняющий обследование ставится перед выбором варианта действий:

- при начале обследования: можно завести первичную карточку пациента или использовать уже имеющуюся регистрацию;
- при выдаче программой предупреждения «Поправьте электроды» (в случае высоких значений подэлектродных сопротивлений);
- в ситуации, когда результаты измерений фазового угла выходят за границы допустимых значений.

3.6. Влияние некоторых видов нарушения процедуры исследований на оценки жировой и безжировой массы

Рассмотрим механизмы возникновения специфичных для биоимпедансного анализа видов погрешностей, лежащих в основе некоторых ограничений на использование метода. Наиболее высокие значения погрешностей отмечаются при состояниях, сопровождаемых межрегиональными перераспределениями значительных объемов крови. Например, после приема пищи погрешность обусловлена централизацией кровообращения и кровенаполнения, после физической нагрузки — децентрализацией. Рассмотрим, как более простой и не связанный с изменением массы тела, случай, когда измерения проводятся до и после физической нагрузки на нижние конечности. После физической работы в сосудах ног на некоторое время происходит задержка крови, и за счет этого снижается кровенаполнение туловища. Соответственно, сопротивление ног снижается, а туловища — возрастает.

На рис. 3.6 на фоне контура тела человека изображены эквивалентные схемы сопротивления трех основных проводящих регионов: руки, туловища и ноги. Значение активного сопротивления R при измерении по схеме кисть — стопа определяется суммой последовательно соединенных сопротивлений этих регионов: $R_{рук}$, $R_{тул}$ и $R_{ног}$. Все три указанных региона

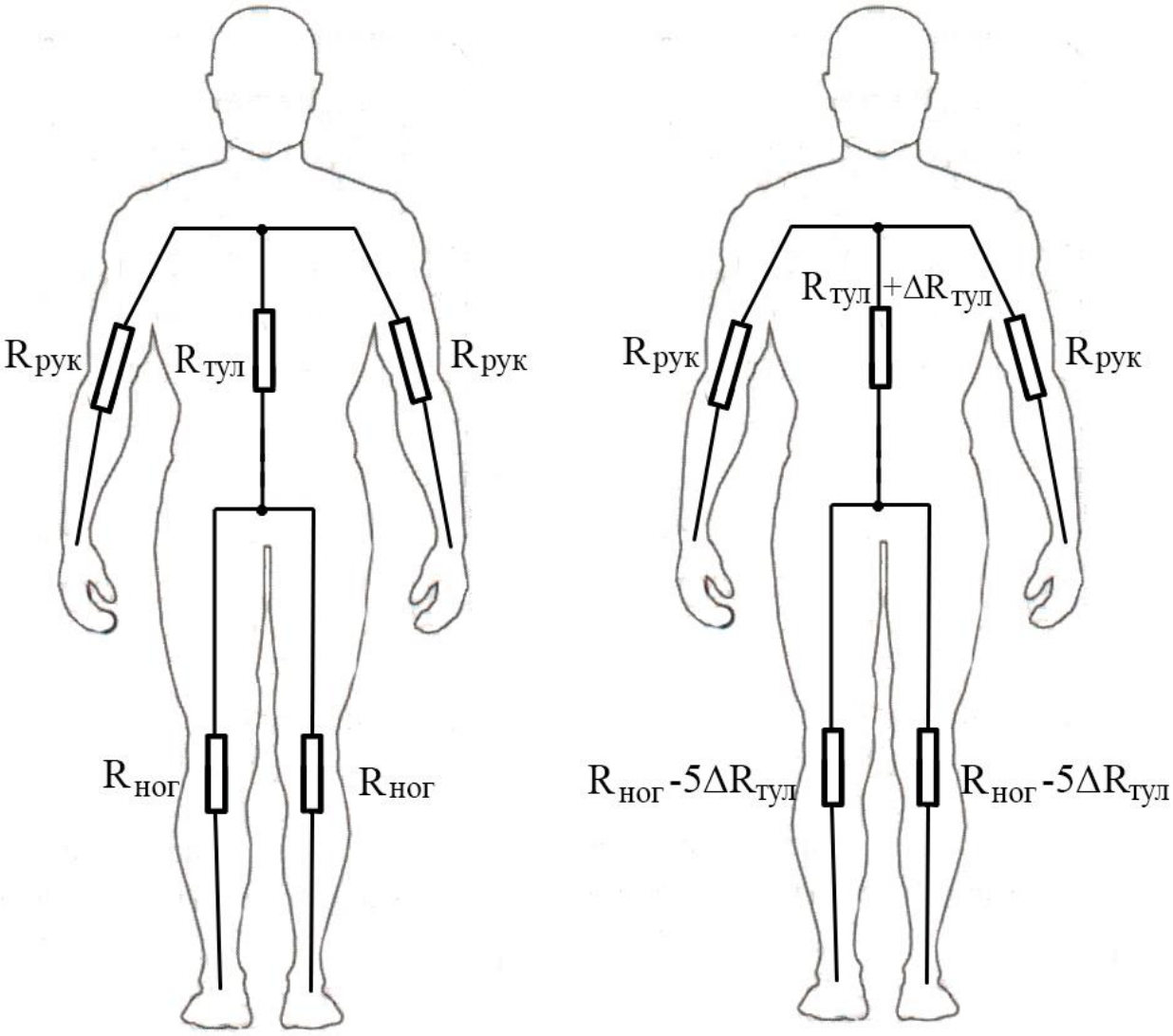


Рис. 3.6. Эквивалентные схемы сопротивления рук, туловища и ног до (слева) и после (справа) оттока крови из туловища в ноги

имеют существенно различающиеся площади поперечного сечения. Средние площади поперечного сечения туловища, руки и ноги соотносятся как 20 : 1 : 2. Поскольку сопротивление обратно пропорционально площади поперечного сечения, можно считать, что соотношение сопротивлений единицы длины туловища, руки и ноги выражается пропорцией 1 : 20 : 10.

Отток крови из туловища в ноги ведет к некоторому увеличению электрического сопротивления туловища $\Delta R_{тул}$. Если бы объем крови, оттекающий из туловища, поступил только в одну из ног, ее сопротивление снизилось бы на $10\Delta R_{тул}$. При равномерном распределении оттекающей крови в обе ноги снижение сопротивления в каждой из ног составит $5\Delta R_{тул}$. В результате значение суммы сопротивлений всех трех измеряемых регионов — руки, туловища и ноги — изменится на величину:

$\Delta R_{тул} - 5\Delta R_{тул} = -4\Delta R_{тул}$, т. е. снизится на $4\Delta R_{тул}$. Общее снижение активного сопротивления, измеряемого от кисти до стопы, приведет к мнимому снижению рассчитанных значений жировой массы и повышению безжировой массы.

Соответственно, в условиях централизации кровообращения и кровенаполнения, например при активизации пищеварительного процесса, погрешности расчета жировой и безжировой массы будут иметь противоположный характер: будет наблюдаться мнимое увеличение жировой массы и уменьшение безжировой массы.

На рис. 3.7 приведены результаты пространственного моделирования областей чувствительности биоимпедансных измерений к перераспределению жидкостей между регионами тела человека. На рис. 3.7 слева показана конфигурация тканей организма, в которой сосредоточены 95 % линий измерительного тока, проходящего от правой кисти к правой стопе. Видно, что в эту область не попадают многие органы и ткани левой части туловища, левая рука и левая нога. На рис. 3.7 справа темным цветом выделены области, изменение электрических свойств которых дает наибольший вклад в результат измерений.

Рассмотрим примеры использования схемы областей чувствительности биоимпедансных измерений.

Рис. 3.7. Результаты моделирования пространственной локализации областей чувствительности биоимпедансных измерений в отведении запястье — голеностоп. Слева — область 95%-й чувствительности, справа — градация зон чувствительности

Достаточно часто возникает вопрос: можно ли на основе биоимпедансометрии выявить изменение объема жидкости в организме после выпитого стакана воды? Для ответа определим локализацию выпитого объема жидкости. Сначала жидкость попадает в пищевод и желудок, т. е. в участок низкой чувствительности измерений (см. рис. 3.7, справа). Поэтому общее сопротивление тела изменится незначительно, и результатом эксперимента станет изменение оценки содержания жидкости в теле всего на несколько десятков граммов (при общем увеличении массы тела на 200–250 г). В то же время за счет добавления веса выпитой жидкости к весу тела временно увеличится оценка содержания жира в теле. Можно ли на основе биоимпедансометрии «увидеть» выпитую жидкость в составе общей воды организма? Теоретически — да, если жидкость усвоится организмом не как часть содержимого полостей тела (желудочно-кишечного тракта, мочевого пузыря), а как составляющая внеклеточного сектора. Например, если в организме был избыток NaCl или жидкость была подсолена. В противном случае всасывание жидкости будет сопровождаться примерно равным по интенсивности процессом ее выделения, и следующим местом локализации жидкости окажется мочевой пузырь, расположение которого на рис. 3.7 справа также соответствует зоне низкой чувствительности измерений.

Другой пример связан с объяснением эффекта увеличения погрешности биоимпедансной оценки ЖМТ у беременных женщин в течение второго и третьего триместров беременности: плод и околоплодные воды находятся в зоне низкой чувствительности метода, поэтому увеличение его массы будет практически полностью отнесено к прибавке жировой массы.

Схема расположения зон высокой чувствительности измерений также объясняет, почему металлические украшения на запястье и голени, а также металлические вставки в костях конечностей вносят ощутимую погрешность в результат измерений, а пирсинг в пупке не вносит.

Результат оценки чувствительности биоимпедансных измерений, отраженный на рис. 3.7, был получен на основе данных Visible Human Project — проекта, реализованного в середине 1990-х годов Национальным институтом здоровья и Национальной медицинской библиотекой США. Данные представляют собой оцифрованные массивы томографических изображений и фотографий послойных анатомических срезов замо-

роженного человеческого трупа с шагом 0,3 мм. На основе этих данных и частично сегментированной модели туловища в 2010–2012 годах в Институте вычислительной математики РАН была построена с высоким разрешением реалистичная геометрическая модель тела человека, содержащая информацию о пространственной локализации более 20 органов и тканей. Каждый объемный элемент сопоставили с соответствующим значением удельной электрической проводимости.

Эта модель была использована в качестве объекта виртуальных измерений. Ее дополнили электродами, соединенными с токозадающими и измерительными цепями, в соответствии со схемой 2 рис. 2.7. В этом эксперименте удалось рассчитать конфигурации линий тока и эквипотенциальных линий в трехмерной модели тела человека и на их основе оценить чувствительность биоимпедансных измерений в каждой точке модели. На рис. 3.7 справа показана карта чувствительности биоимпедансных измерений при размещении электродов на кисти и стопе.

Лекция 4.
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВА ТЕЛА

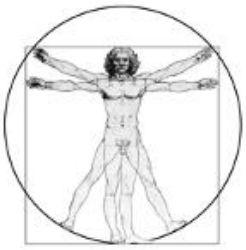
Результаты биоимпедансных исследований пациента принято оформлять в виде табличных или графических протоколов. После выполнения первого обследования пациента становятся доступны первичный протокол и протокол фазового угла, после второго — текущий протокол, после третьего — графический протокол результатов измерений.

4.1. Первичный протокол

4.1.1. Общий вид

Общий вид основной страницы первичного протокола биоимпедансного обследования состава тела показан на рис. 4.1. В верхней части протокола приводятся значения возраста, роста, веса, обхватов талии и бедер, активного (R) и реактивного (Xc) сопротивлений, фазового угла импеданса (ФУ), объема клеточной жидкости (КЖ), минеральной массы тела (ММТ) и основного обмена (ОО). Далее, на фоне графических шкал классификации значений признаков с учетом пола, возраста и роста пациента, в протоколе представлены значения индекса массы тела (ИМТ), жировой массы (ЖМТ), безжировой (тощей) массы (БМТ), активной клеточной массы (АКМ), процентного содержания АКМ в БМТ (%АКМ), скелетно-мышечной массы (СММ), процентного содержания СММ в БМТ (%СММ), удельного основного обмена в нормировке на площадь поверхности тела (УОО), общей воды организма (ОВО), объема внеклеточной жидкости (ВКЖ), индекса талия — бёдра (ИТБ), процентного содержания жира в теле (%ЖМТ).

Средние, не закрашенные цветом, участки графических шкал первичного протокола биоимпедансного обследования соответствуют интервалу нормальных значений признака. Участки, расположенные левее нижней границы нормы (выделены синим цветом), соответствуют низким значениям признака. Интервалы высоких значений признаков, ассоциированные с повышенным риском заболеваний, закрашены красным цветом. Интервалы высоких значений признаков, соответствующие повышенному уровню физического развития, отмечены зеленым цветом.



НТЦ "Медасс"

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Пациент:

Базовые данные			
Дата обследования	09.01.2010 12:47:51	Сопрот. (акт. на 5 и 50 кГц, реакт. на 50 кГц), Ом	648 / 438 / 62
Возраст, лет	20	Фазовый угол (50 кГц), град.	8.06
Рост, см / Вес, кг	181 / 90.0	Внутриклеточная жидкость / Минеральная масса, кг	33.2 / 3.153
Окр. талии / Окр. бедер, см	86 / 97	Основной обмен, ккал/сут.	1991

Состав тела			
Индекс массы тела	18.5	25.0	27.5 → 96 / 126%
Жировая масса (кг), нормированная по росту	7.2	14.5	20.4 → 88 / 188%
Тощая масса (кг)	47.8	71.5	69.6 → 97 / 117%
Активная клеточная масса (кг)	26.4	39.4	43.5 → 96 / 132%
Доля активной клеточной массы (%)	53.0	59.0	62.6 → 81 / 112%
Скелетно-мышечная масса (кг)	27.7	35.3	37.4 → 95 / 119%
Доля скелетно-мышечной массы (%)	52.4	55.6	53.8 → 46 / 100%
Удельный основной обмен (ккал/кв.м/сут.)	842.9	978.7	943.8 → 69 / 104%
Общая жидкость (кг)	35.0	52.3	50.9 → 97 / 117%
Внеклеточная жидкость (кг)	15.3	18.6	17.7 → 64 / 105%
Соотношение талия / бедра	0.76	0.86	0.89 → 93 / 109%
Классификация по проценту жировой массы (ожирение)	11.9	15.8 / 21.4	22.7 → 72 / 121%

Истощение | **Фитнес-стандарт** | **Норма** | **Избыточный вес** | **Ожирение**

Цифры справа от шкал нормальных значений обозначают: нижняя - процент от середины нормы; верхняя - значение центиля или z-скора (в соответствии с параметрами настройки).
Центили рассчитаны относительно референтной общероссийской выборки по данным исследования, проведённого в российских Центрах здоровья в 2010-2012 гг.: Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А., Николаев Д.В. и др. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с.

Рис. 4.1. Первичный протокол биоимпедансного обследования молодого футболиста

Справа от графических шкал указаны относительные значения признака — процент от середины нормы и центиль относительно референтной общероссийской выборки пациентов, обследованных в центрах здоровья.

Рассмотрим способы интерпретации данных первичного протокола биоимпедансного обследования по каждой из представленных графических шкал.

Индекс массы тела отражает соотношение веса и роста. Высокие значения ИМТ ассоциированы с повышенным риском сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, а низкие — с повышенным риском хронических заболеваний легких. У спортсменов высокие значения ИМТ нередко связаны с развитием мышечной, а не жировой ткани.

Шкала значений жировой массы дает возможность количественно оценить степень избытка или недостатка жировой массы, что позволяет рассчитать примерные сроки коррекции данного нарушения. Адекватный курс диетотерапии у пациентов с избыточной массой тела приводит к уменьшению жировой массы в среднем на 500 г в неделю. В связи с этим примерную длительность курса диетотерапии (в неделях) рассчитывают как удвоенное значение избытка жировой массы (в килограммах).

Шкала тощей (безжировой) массы используется для оценки конституциональных особенностей индивида. Положение маркера вблизи середины интервала нормальных значений признака принято интерпретировать как нормостенический тип телосложения. В кардиологии значения БМТ используются для уточнения диагноза «гипертрофия левого желудочка».

Пониженное значение активной клеточной массы свидетельствует о дефиците белковой компоненты питания, что может быть вызвано как общим недостатком белка в рационе, так и индивидуальными особенностями усвоения отдельных видов белкового питания. По изменению АКМ оценивают эффективность диетотерапии после операций на органах желудочно-кишечного тракта. Контроль значений АКМ помогает выявить белковую недостаточность у вегетарианцев, вызванную низкобелковой диетой или нарушениями синтеза белка при питании растительной пищей.

Доля активной клеточной массы в тощей массе служит коррелятом двигательной активности. Низкие значения %АКМ у здоровых людей принято связывать с гиподинамией. У высококвалифицированных спортсменов в циклических и игровых видах спорта значения %АКМ, как правило, превышают 62–63 %.

Шкала скелетно-мышечной массы используется для характеристики общего уровня физического развития.

Доля скелетно-мышечной массы в тощей массе служит в спортивной медицине для оценки текущего уровня физической работоспособности спортсмена.

Положение маркера удельного основного обмена указывает на относительную интенсивность обменных процессов. Изменения УОО могут быть вызваны эндокринными нарушениями, действием лекарственных препаратов, переходными состояниями, связанными с большим объемом физической нагрузки, и другими факторами.

Шкалу общего содержания жидкости в организме используют для оценки корректности применения метода у пациента. Если положение маркера общей жидкости на шкале нормальных значений признака не соответствует положению маркера тощей массы, то принято считать, что результаты исследования неверны. Это может быть связано с изменениями электролитного состава жидких сред организма. У пациентов с нефрологическими нарушениями такая ситуация встречается довольно часто, в особенности у гемодиализных больных. В этих случаях используют специализированные анализаторы состава тела.

Большинство наблюдаемых в клинической практике нарушений состояния гидратации связано с изменением объема внеклеточной жидкости. Изменения клеточной гидратации наблюдаются редко: при отравлениях, ожогах, за несколько часов до смерти у больных с полиорганной недостаточностью. Внеклеточные отеки чаще регистрируются у нефрологических и кардиологических больных, при локальных отеках конечностей различной этиологии. Повышенная внеклеточная гидратация у здоровых людей может быть вызвана задержкой жидкости, например, из-за потребления продуктов питания с повышенным содержанием поваренной соли. При температуре окружающей среды выше 30 °С задержка жидкости может быть обусловлена наличием резерва внеклеточной жидкости для усиленного потоотделения. Процедуры сгонки веса в спорте приводят лишь к кратковременному снижению содержания внеклеточной жидкости.

Шкалы отношения обхватов талии и бедер и процента жировой массы используются совместно для диагностики абдоминального ожирения и оценки риска развития метаболического синдрома. Считается, что риск метаболического синдрома повышен, если один из этих параметров превышает норму. Если превышение нормы наблюдается сразу по двум па-

раметрам, то риск метаболического синдрома принято характеризовать как высокий.

Шкала процента жировой массы позволяет диагностировать недостаточное, избыточное жироотложение и ожирение. Интервал нормальных значений %ЖМТ разбит на два: «норма» и «фитнес-стандарт», что соответствует верхнему и нижнему интервалам нормы.

4.1.2. Примеры

Пример 1. На рис. 4.1 показан первичный протокол биоимпедансного исследования состава тела мужчины 20 лет, футболиста. Избыток жировой массы, рассчитанный как измеренное значение (20,4 кг), уменьшенное на значение верхней границы диапазона нормальных значений (14,5 кг), составляет 5,9 кг. Повышенные значения безжировой и скелетно-мышечной массы указывают на мезоморфный тип телосложения. Повышенное значение активной клеточной массы указывает на усиленное потребление и нормальное усвоение белков. Доля активной клеточной массы в тощей массе соответствует высокому уровню двигательной активности. Значения скелетно-мышечной массы и ее доли в безжировой массе свидетельствуют о хорошем уровне физического развития. Положение маркеров удельного основного обмена, общей и внеклеточной жидкости соответствует норме. Наличие избыточного веса по проценту жировой массы — нередкая ситуация для футболистов, испытывающих кратковременные анаэробные нагрузки. Повышенное соотношение талия — бёдра указывает на выраженность абдоминального жироотложения и наличие риска развития метаболического синдрома, особенно с учетом молодого возраста спортсмена.

Пример 2. На рис. 4.2 показан первичный протокол биоимпедансного исследования состава тела женщины 54 лет (рост 170 см, масса тела 95 кг). Диагноз «ожирение» может быть поставлен и по значениям процента жировой массы, и по значениям индекса массы тела. Избыток жировой массы составил 20 кг. Таким образом, оценка средней длительности процедуры коррекции жировой массы составляет 40 недель. Положение маркеров на шкалах безжировой и скелетно-мышечной массы указывает на гиперстенический тип конституции и хорошее развитие скелетно-мышечной системы. Это позволяет рекомендовать в качестве дополнения к диетотерапии аэробные физические нагрузки, исходя из состояния сердечно-сосудистой и опорно-двигательной систем.

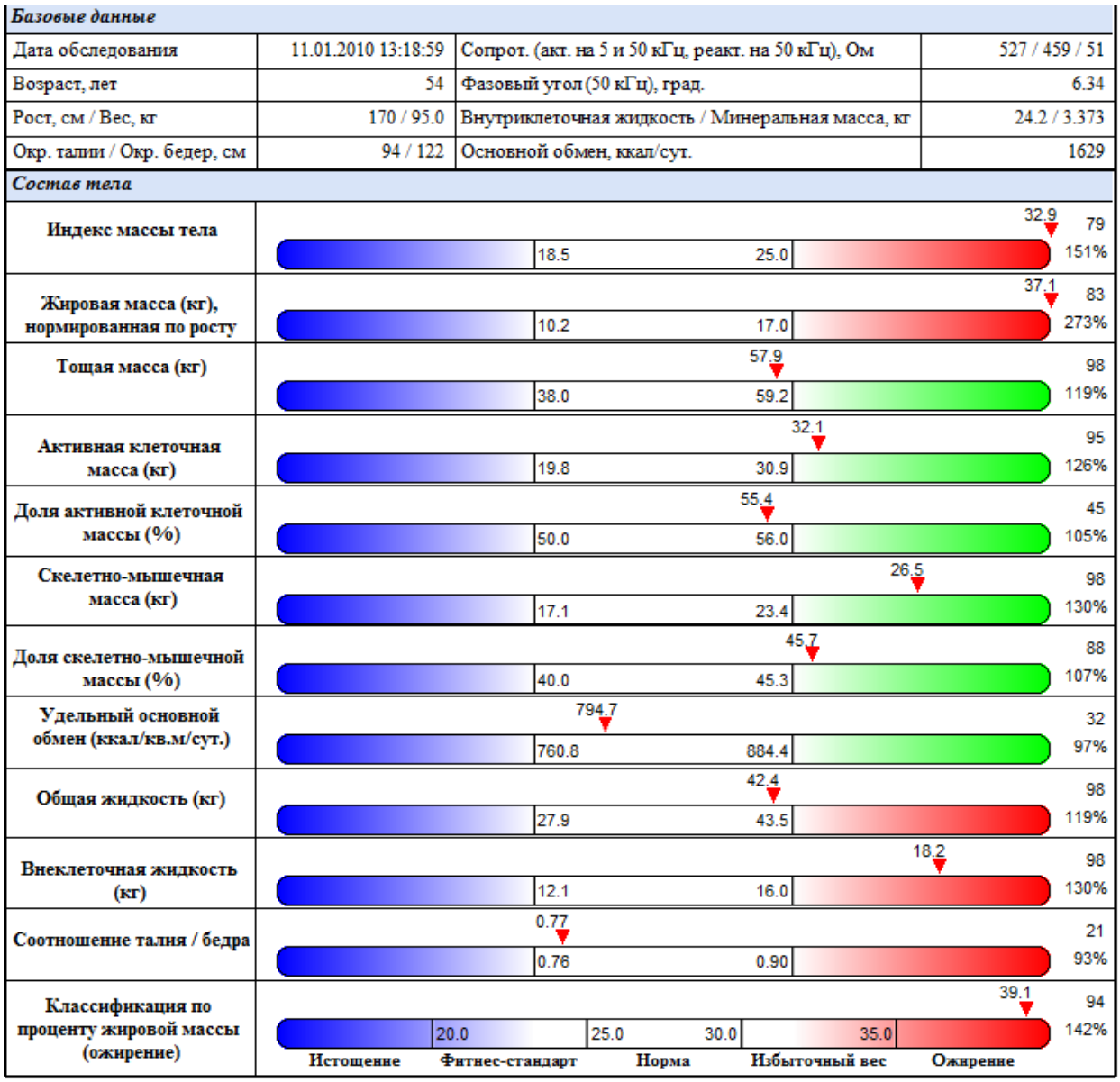


Рис. 4.2. Первичный протокол биоимпедансного обследования пациентки с ожирением

Высокое значение активной клеточной массы свидетельствует о достаточности белковой компоненты питания и высоком уровне двигательной активности. Положение маркера удельного основного обмена соответствует норме. Маркер общей жидкости расположен строго под маркером тощей массы, что свидетельствует об отсутствии нарушений водно-солевого баланса и адекватности применения биоимпедансных оценок состава тела. Задержка внеклеточной жидкости составляет 2,2 л, что объясняется отечностью ног из-за хронического заболевания вен нижних конечностей. Относительно низкое отношение обхватов талии и бедер указывает на гиноидный тип жироотложения и отсутствие риска развития метаболического синдрома.

Пример 3. На рис. 4.3 показан первичный протокол биоимпедансного обследования пациентки с выраженной белково-энергетической недостаточностью. Низкие значения жировой и активной клеточной массы указывают на общую недостаточность питания и его белковой компоненты, следствием чего является снижение тощей и скелетно-мышечной массы. Величина основного обмена составляет 1141 ккал/сут при нижней границе нормы 1240 ккал/сут. Значение доли АКМ в тощей массе указывает на недостаточный уровень двигательной активности.

Пример 4. На рис. 4.4 показан первичный протокол биоимпедансного обследования пациента с тенденцией к развитию ожирения при нормаль--

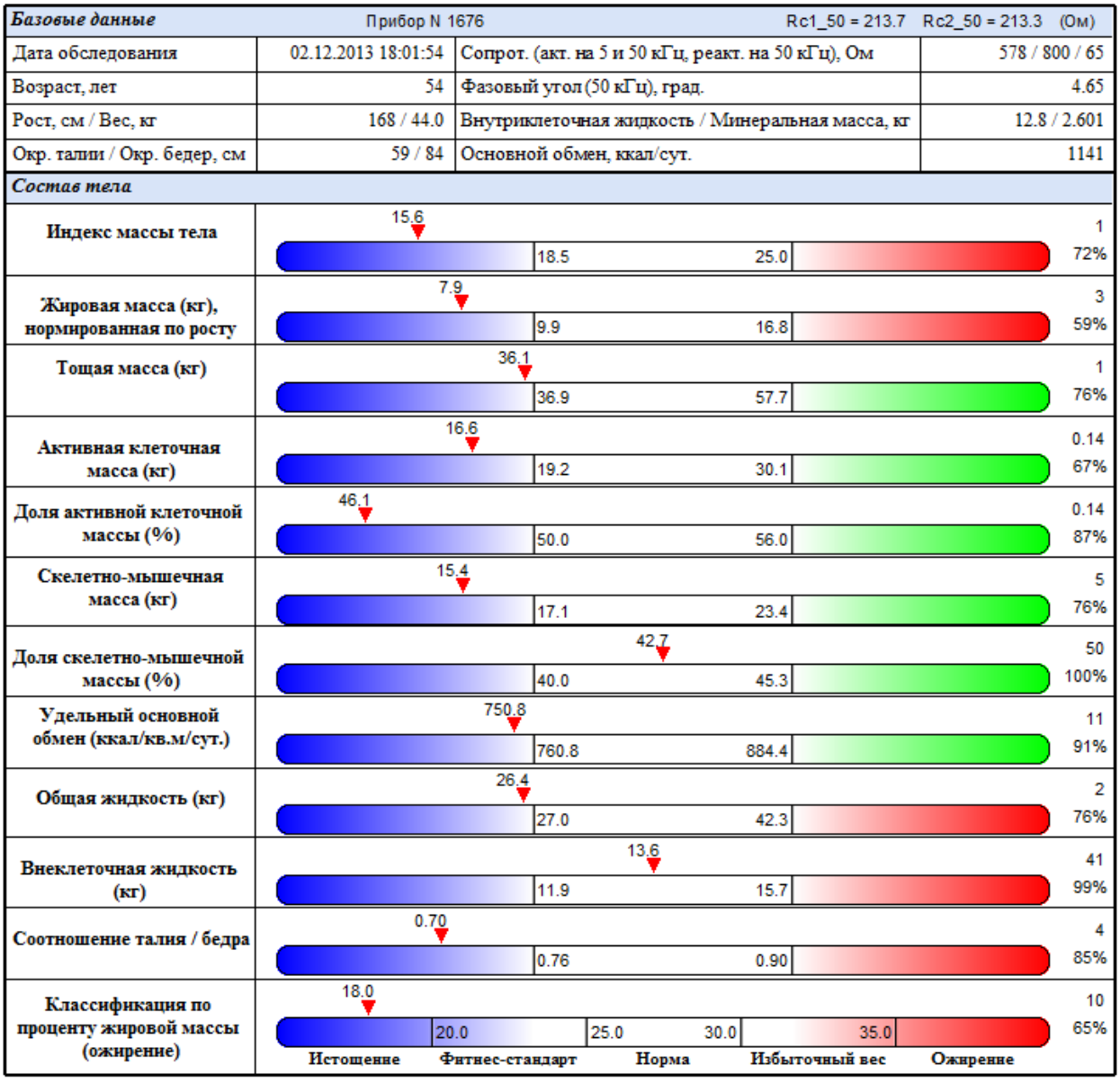


Рис. 4.3. Первичный протокол биоимпедансного обследования пациентки с белково-энергетической недостаточностью

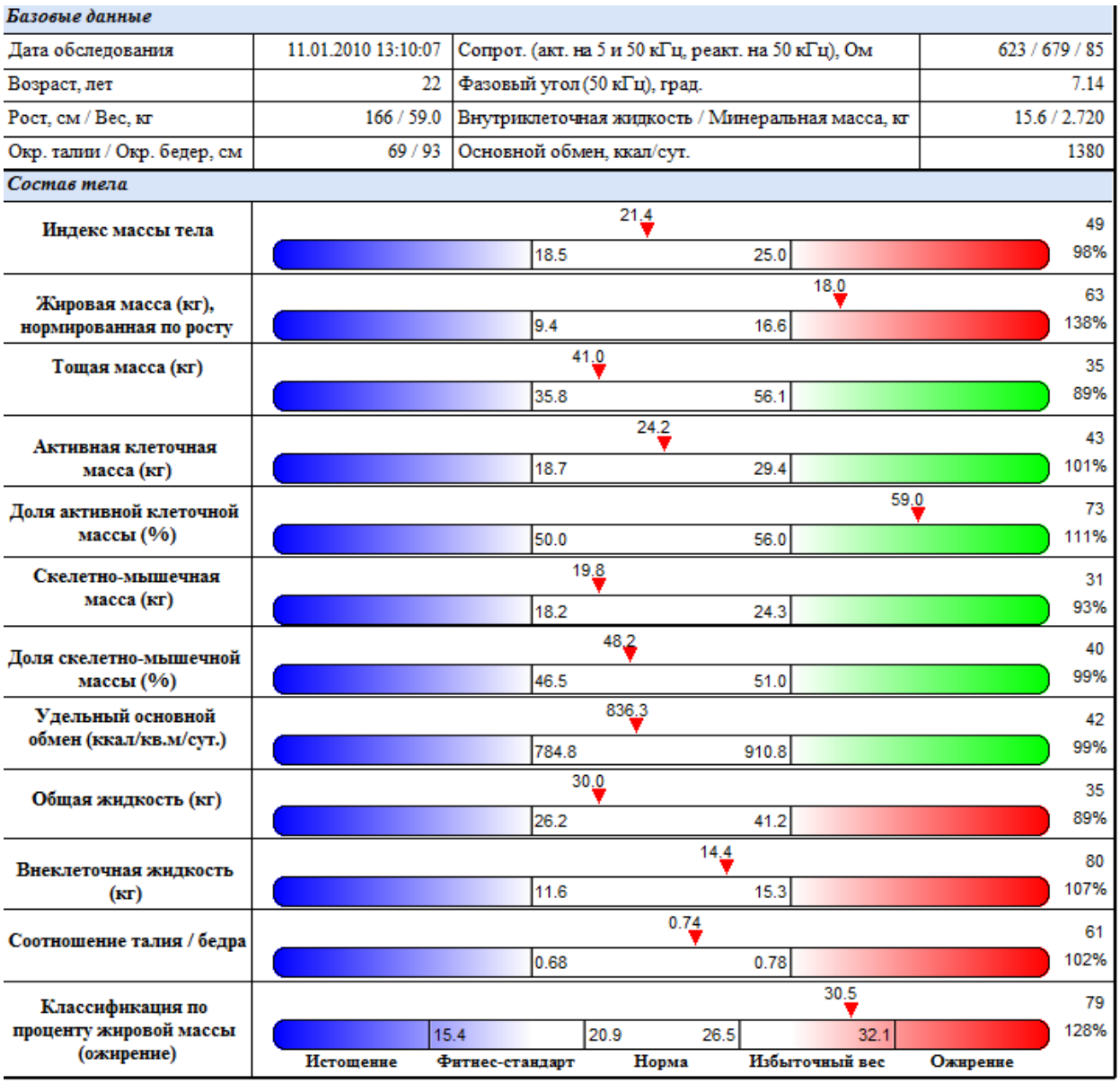


Рис. 4.4. Первичный протокол биоимпедансного обследования пациента с тенденцией к развитию ожирения при нормальном весе

ном весе: значение индекса массы тела соответствует середине нормы, при этом небольшой избыток жировой массы (1,4 кг) «маскируется» значительным снижением тощей массы, что в итоге дает сравнительно высокое значение доли жировой массы, классифицируемое как «избыточный вес».

Пример 5. На рис. 4.5 показан первичный протокол биоимпедансного обследования студентки с недостаточностью белкового питания, что выражается в низких значениях активной клеточной и скелетно-мышечной массы. Значения процента жировой массы соответствуют градации «избыточный вес», что свидетельствует о преобладании углеводов в питании.

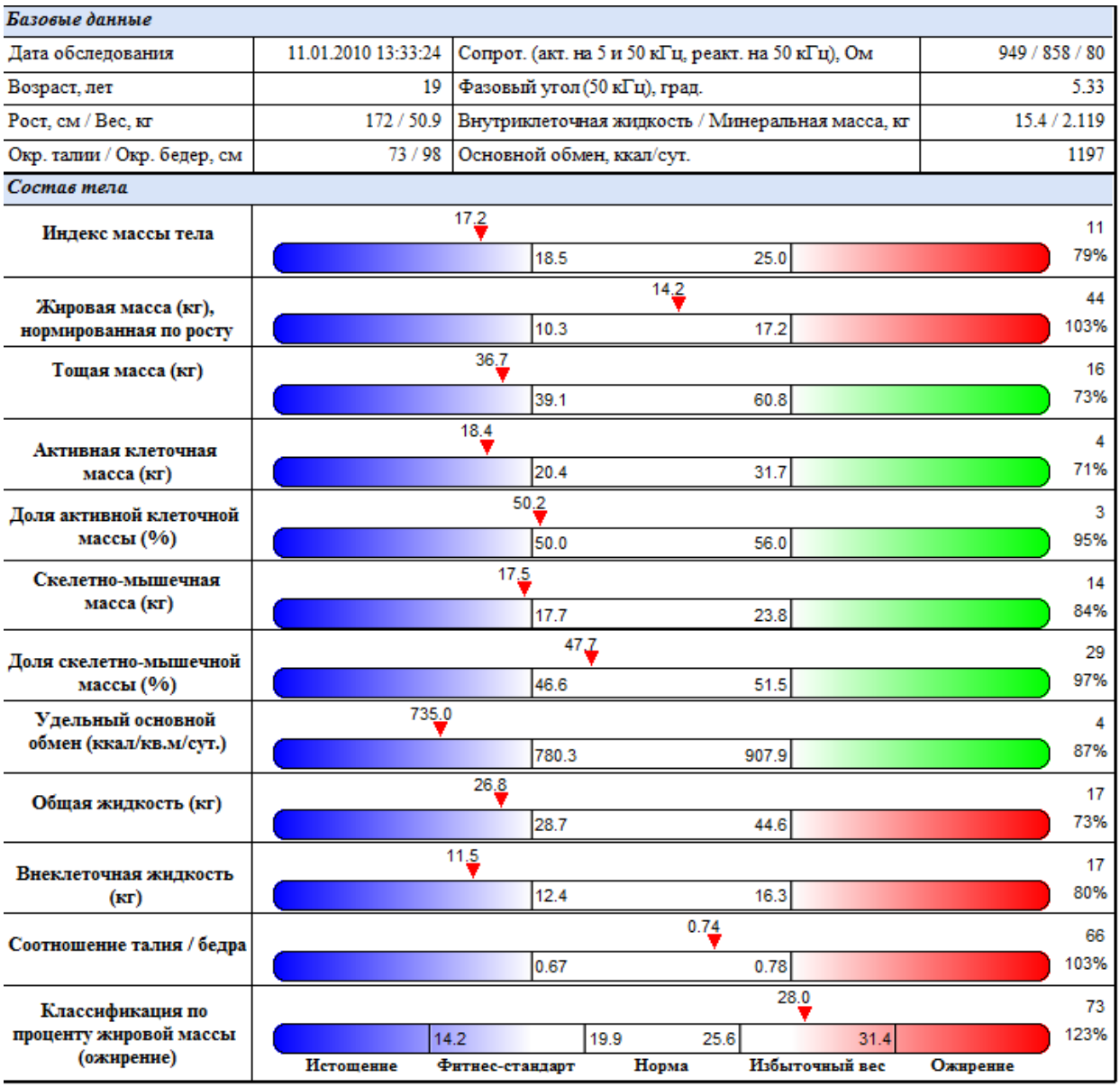


Рис. 4.5. Первичный протокол биоимпедансного обследования пациентки с белковым истощением

Опрос пациентки выявил, что основой ее питания были каши, картофель и макаронные изделия.

Пример 6. На рис. 4.6 показан первичный протокол биоимпедансного исследования состава тела бодибилдера. У спортсмена была резко выраженная гипертрофия скелетно-мышечной ткани и, соответственно, наблюдались высокие значения тощей и активной клеточной массы. Абсолютное значение жировой массы соответствовало норме, а относительное значение — истощению, обусловленному высоким содержанием СММ.

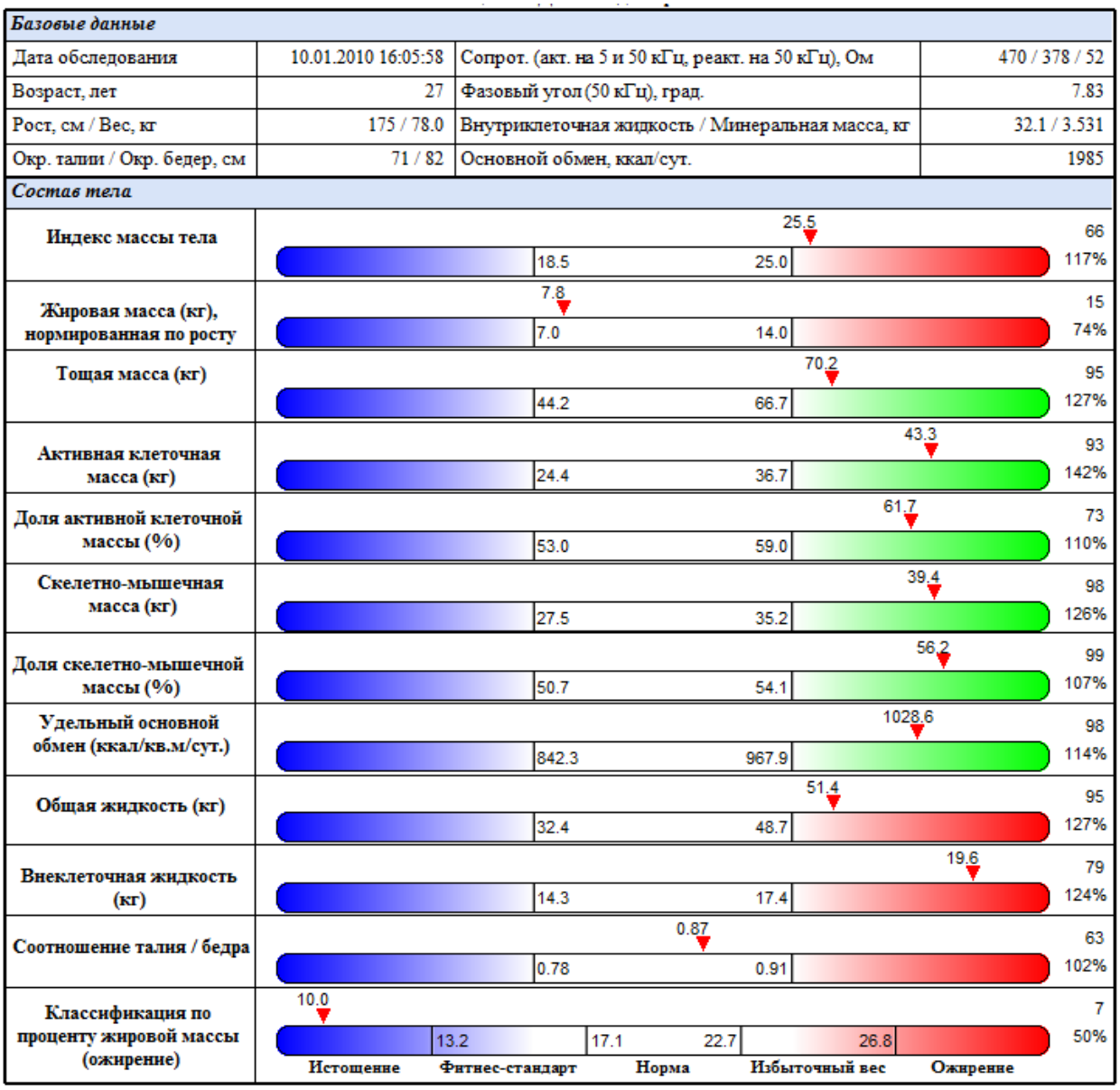


Рис. 4.6. Первичный протокол биоимпедансного исследования состава тела бодибилдера

4.1.3. Дополнительные страницы первичного протокола

Вторая и третья страницы первичного протокола (рис. 4.7 и 4.8) содержат информацию о полученных значениях параметров состава тела и краткие сведения по их трактовке, изложенные в терминах, понятных для пациента без медицинского образования.

Индекс массы тела (ИМТ)

Ваш индекс массы тела: **23.2 кг/кв.м**

Ваш диапазон нормальных значений ИМТ: **18.5 - 25.0 кг/кв.м**

Величина ИМТ является характеристикой соответствия массы тела среднепопуляционным значениям для данного роста. В международной практике используется следующая классификация значений ИМТ:

ИМТ	*Классификация*	*Риск заболеваемости*
Менее 18,5	Дефицит массы тела	Повышенный
18,5 - 24,9	Нормальная масса тела	Минимальный
25,0 - 29,9	Избыточная масса тела	Повышенный
30,0 - 34,9	Ожирение I степени	Высокий
35,0 - 39,9	Ожирение II степени	Очень высокий
Свыше 40	Ожирение III степени	Чрезмерно высокий

К сожалению, ИМТ даёт лишь косвенную оценку развития жировой ткани, так как повышенные значения ИМТ могут быть связаны, например, с увеличенной мышечной массой или наличием отека. Для индивидуальной характеристики степени жироотложения и оценки рисков развития заболеваний используют данные о компонентном составе тела.

Состав тела

Жировая масса тела (ЖМТ)

Ваша жировая масса тела: **20.0 кг**

Ваш диапазон нормальных значений ЖМТ: **8.5 - 16.2 кг**

Жир тела (т.е. липиды) представляет собой важнейшее депо энергии в организме и участвует в регуляции физиологических и обменных процессов. Нормальное содержание жировой ткани является условием поддержания здоровья, хорошего самочувствия и работоспособности. Избыточное содержание жировой ткани представляет собой фактор риска развития сердечно-сосудистых и других заболеваний. Причиной высокого содержания жира в организме, как правило, является избыточное питание в сочетании с малоподвижным образом жизни.

Тощая (безжировая) масса (ТМ)

Ваша тощая масса составляет: **41.0 кг**

Ваш диапазон нормальных значений тощей массы: **33.5 - 53.0 кг**

Тощая масса определяется как разность между массой тела и жировой массой, содержит как метаболически активные (например, скелетно-мышечная масса), так и сравнительно инертные ткани (соединительная ткань). Отклонения значений тощей массы от среднего свидетельствует об особенностях конституции человека: влево - ближе к астеническому, вправо - к гиперстеническому типу.

Активная клеточная масса тела (АКМ)

Ваша активная клеточная масса составляет: **21.3 кг**

Ваш диапазон нормальных значений активной клеточной массы: **17.6 - 27.8 кг**

Активная клеточная масса характеризует содержание в организме метаболически активных тканей. Очень важно в процедурах коррекции массы тела снижать именно жировую массу и сохранять неизменной активную клеточную массу за счёт повышенной физической активности и сбалансированного питания.
Отклонение АКМ в сторону меньших значений от среднего указывает на недостаточность белковой компоненты питания.

Процентная доля АКМ в тощей массе (%АКМ)

Ваша процентная доля АКМ составляет: **51.8 %**

Ваш диапазон нормальных значений %АКМ: **50.0 - 56.0 %**

Величина процентной доли АКМ используется как коррелят физической работоспособности, а при значениях ниже среднего - выраженности гиподинамии.

Рис. 4.7. Вторая страница первичного протокола биоимпедансного исследования состава тела

Скелетно-мышечная масса (СММ)

Ваша скелетно-мышечная масса составляет 17.5 кг

Ваш диапазон нормальных значений скелетно-мышечной массы: 17.4 - 23.6 кг

Величина СММ используется для характеристики физического развития индивида.

Процент СММ в тощей массе (%СММ)

Ваш процент скелетно-мышечной массы составляет 42.6 %

Ваш диапазон нормальных значений %СММ 40.6 - 45.6 %

Величина СММ используется для характеристики физического развития и уровня тренированности спортсмена.

Основной обмен (ОО) и Удельный основной обмен (УОО)

Ваш основной обмен составляет 1288 ккал/сут.

Величина основного обмена характеризует общий уровень метаболических процессов в организме. При одинаковых массе и длине тела значения ОО у людей атлетического телосложения на 10-15% выше, чем при избыточном содержании жира в организме. При ожирении 2-й степени значения основного обмена в среднем на 20-25%, а при ожирении 3-й степени - на 30% ниже, чем у здоровых людей. Значения оценок основного обмена используют для расчета калорийности диеты.

Ваш удельный основной обмен составляет 790 ккал/кв.м/сут.

Ваш диапазон нормальных значений УОО: 763.0 - 886 ккал/кв.м/сут.

Удельный основной обмен определяется путём нормировки значения основного обмена на площадь поверхности тела или тощую массу. Величина УОО используется для сравнения интенсивности обменных процессов у различных индивидов.

Общая вода организма (ОВО)

Ваша общая вода организма составляет 30.0 кг

Ваш диапазон нормальных значений ОВО: 24.6 - 38.9 кг

Общая вода организма представляет собой наибольший по массе компонент состава тела и обеспечивает процессы транспорта веществ в организме. В норме ОВО составляет около 73% тощей массы. т Суточное потребление воды, необходимое для нормальной жизнедеятельности взрослого человека, составляет 30-40 г на 1 кг массы тела.

Внеклеточная жидкость организма (ВКЖ)

Ваша внеклеточная жидкость организма составляет 12 кг

Ваш диапазон нормальных значений ВКЖ: 11.1 - 14.6 кг

Внеклеточная жидкость организма представляет собой наиболее мобильный компонент жидких фракций организма: межклеточную жидкость и плазму крови. Наиболее распространенные виды отеков носят межклеточный характер.

Индекс талия-бёдра (ИТБ)

Ваш показатель ИТБ составляет 0.79

Ваш диапазон нормальных значений ИТБ: 0.75 - 0.89

Величина ИТБ представляет собой отношение длины окружности талии к длине окружности бёдер, характеризует тип телосложения человека. К указанным типам телосложения относятся гиноидный (“груша”), промежуточный и андроидный (“яблоко”). Величина ИТБ также используется для определения типа ожирения. При абдоминальном ожирении значение ИТБ у мужчин превышает 1,0, при гиноидном у женщин - 0,85.

Процент жировой массы (%ЖМ)

Ваш показатель %ЖМ составляет 32.7 %

Ваш диапазон нормальных значений %ЖМ 35.0 - 20.0 %

Классификация по процентному содержанию жировой массы в организме пациента - наиболее адекватно позволяет судить о степени жироотложения.

Одновременное превышение нормы %ЖМ и ИТБ является прогностическим признаком метаболического синдрома, что подразумевает высокую вероятность развития артериальной гипертензии, сахарного диабета второго типа, желчекаменной болезни и ряда других заболеваний.

Рис. 4.8. Третья страница первичного протокола биоимпедансного исследования состава тела

Четвертая страница первичного протокола содержит:

- таблицу критериев оценки нутритивного статуса по индексу безжировой массы тела и ИМТ; текущее состояние пациента указано цветовым выделением строки (рис. 4.9);
- таблицу критериев риска инвалидности по индексу скелетно-мышечной массы (рис. 4.9);
- расчет калорийности и состава основного приема пищи для лиц, использующих для похудения специализированные продукты питания (рис. 4.10).

Критерии оценки нутритивного статуса по индексу безжировой массы (иБМТ) и ИМТ у людей старше 60 лет

Состояние	*Мужчины*		*Женщины*	
	ИМТ	иБМТ	ИМТ	иБМТ
Норма и выше нормы	>= 21 кг/м2	>= 16 кг/м2	>= 21 кг/м2	>= 15 кг/м2
Недоедание (semi-starvation)	< 21 кг/м2	>= 16 кг/м2	< 21 кг/м2	>= 15 кг/м2
Мышечная атрофия (muscle atrophy)	>= 21 кг/м2	< 16 кг/м2	>= 21 кг/м2	< 15 кг/м2
Истощение (cachexia)	< 21 кг/м2	< 16 кг/м2	< 21 кг/м2	< 15 кг/м2

Schols A.M.W.J., Broekhuizen R., Weling-Scheepers C.A., Wouters E.F. Body composition and mortality in chronic obstructive pulmonary disease // Am. J. Clin. Nutr. 2005. V.82. P.53-59.

Критерии риска инвалидности у людей старше 60 лет по величине индекса скелетно-мышечной массы (иСММ)

Риск инвалидности	Мужчины	Женщины
Низкий	иСММ > 10,75 кг/м2	иСММ > 6,75 кг/м2
Повышенный	8,50 кг/м2 < иСММ <= 10,75 кг/м2	5,75 кг/м2 < иСММ <= 6,75 кг/м2
Высокий	иСММ <= 8,50 кг/м2	иСММ <= 5,75 кг/м2

Janssen I., Heymsfield S.B., Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability // J. Am. Geriatr. Soc. 2002. V.50. P.889-896

Рис. 4.9. Классификация нарушений нутритивного статуса (вверху) и риска инвалидности (внизу) у взрослых людей по данным биоимпедансметрии

ПИТАНИЕ

По принятым нормам потребление питательных веществ во время основного приема пищи составляет:

Сложные углеводы :	66 - 92 г
Белок :	18 - 26 г
Жир :	13 - 18 г
Энергетическая ценность :	468 - 657 ккал

Рис. 4.10. Расчет калорийности и состава основного приема пищи для лиц, использующих для похудения специализированные продукты питания

4.2. Протокол фазового угла

Информацию о текущем уровне метаболизма обследуемого, наряду с оценкой основного и удельного основного обмена в первичном протоколе биоимпедансного обследования, дает протокол фазового угла (рис. 4.11). Верхняя диаграмма на рис. 4.11 характеризует соответствие значений фазового угла и %ЖМТ диапазону нормальных значений для пациентов в возрасте от 18 до 55 лет. Нижняя диаграмма дает представление о возрастных изменениях нормальных значений фазового угла. (Под диапазоном нормальных значений в данном случае понимается интервал значений признака в пределах одного стандартного отклонения от медианы для соответствующего возраста и пола.)

Фазовый угол вычисляется на основе измеренных значений активного (R50) и реактивного (Xc50) сопротивлений на частоте 50 кГц. Верхняя шкала протокола фазового угла предложена немецкими исследователями D. и O. Selberg (2002) и позволяет интерпретировать значения фазового угла для взрослых людей. Авторы показали, что финальные стадии хронических заболеваний, как правило, сопровождаются снижением значений фазового угла, и выявили высокую прогностическую значимость данного показателя как маркера времени дожития у больных циррозом печени. Сравнение распределения значений фазового угла у здоровых людей, спортсменов и больных хроническими заболеваниями привело к разработке клинической классификации значений фазового угла.

Значения фазового угла принято интерпретировать следующим образом:

ФУ < 4,4° — высокая вероятность катаболических сдвигов;

4,4° < ФУ < 5,4° — гиподинамия;

5,4° < ФУ < 7,8° — норма;

7,8° < ФУ — повышенные значения, характерные для спортсменов.

Низкие значения фазового угла встречаются у больных онкологическими заболеваниями, при гепатите, СПИДе, циррозе печени, туберкулезе и ассоциированы с низким периодом дожития. Однако низкие значения фазового угла, являющиеся отражением катаболических сдвигов, не всегда свидетельствуют о наличии заболевания. При длительной обездвиженности, например после травмы или хирургической операции, при депрессивных состояниях наблюдаются аналогичные явления: снижение АКМ и фазового

угла. По величине фазового угла в спорте высших достижений оценивается предстартовая готовность спортсмена.

Верхний предел значений фазового угла у человека при измерениях в отведении кисть — стопа составляет порядка 10,5°. Более высокие значения фазового угла свидетельствуют о нарушении методики обследования (например, в ходе измерений пациент мог касаться стены).

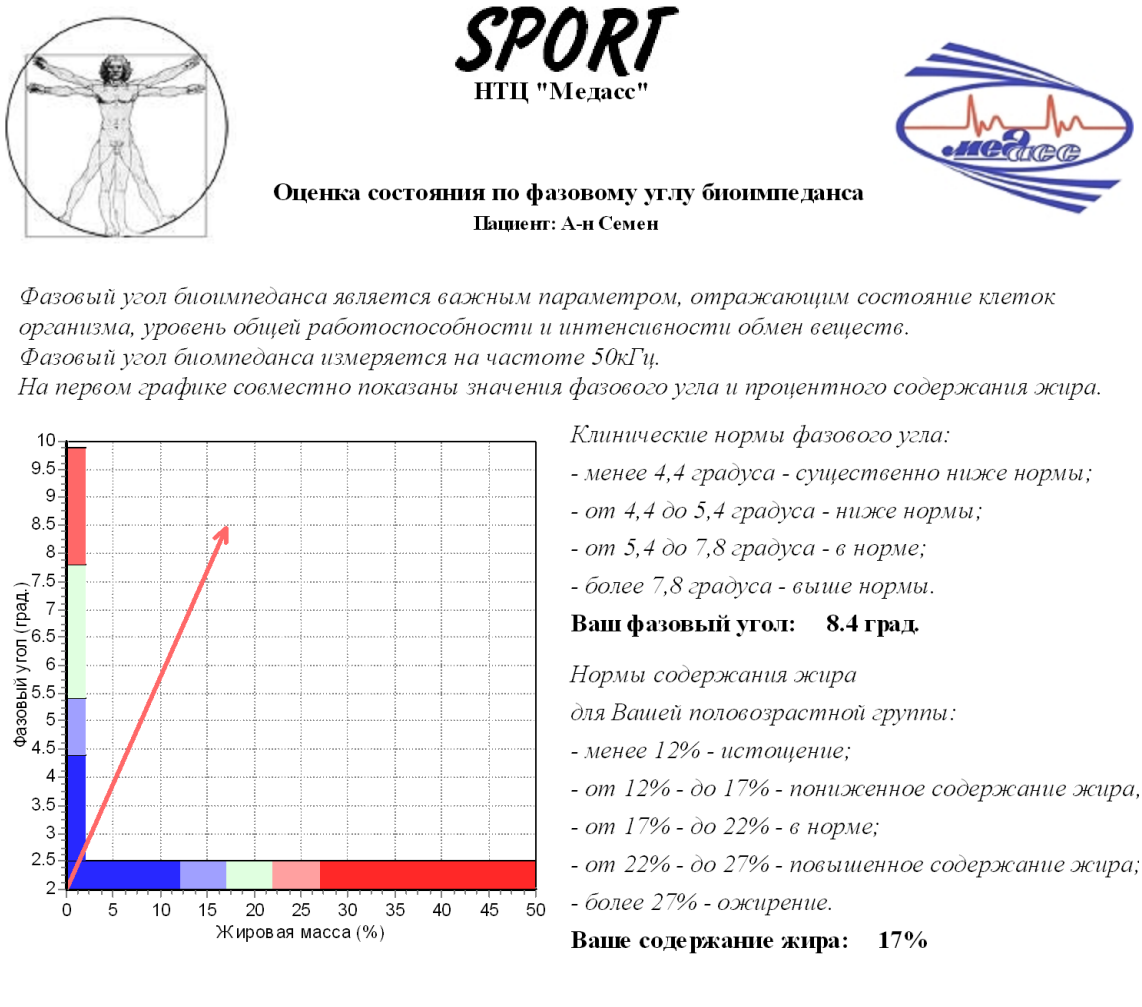


Рис. 4.11. Протокол фазового угла спортсмена

На рис. 4.12 приведены примеры протоколов фазового угла для некоторых типичных ситуаций:

- нормальные значения фазового угла и %ЖМТ;
- повышенные значения фазового угла на фоне значений %ЖМТ в нижней части нормы — характерно для спортсменов во многих видах спорта;
- пониженные значения фазового угла на фоне повышенных значений %ЖМТ — гиподинамия на фоне избыточной массы тела;
- низкие значения фазового угла при нормальных значениях %ЖМТ — состояние белкового катаболизма.

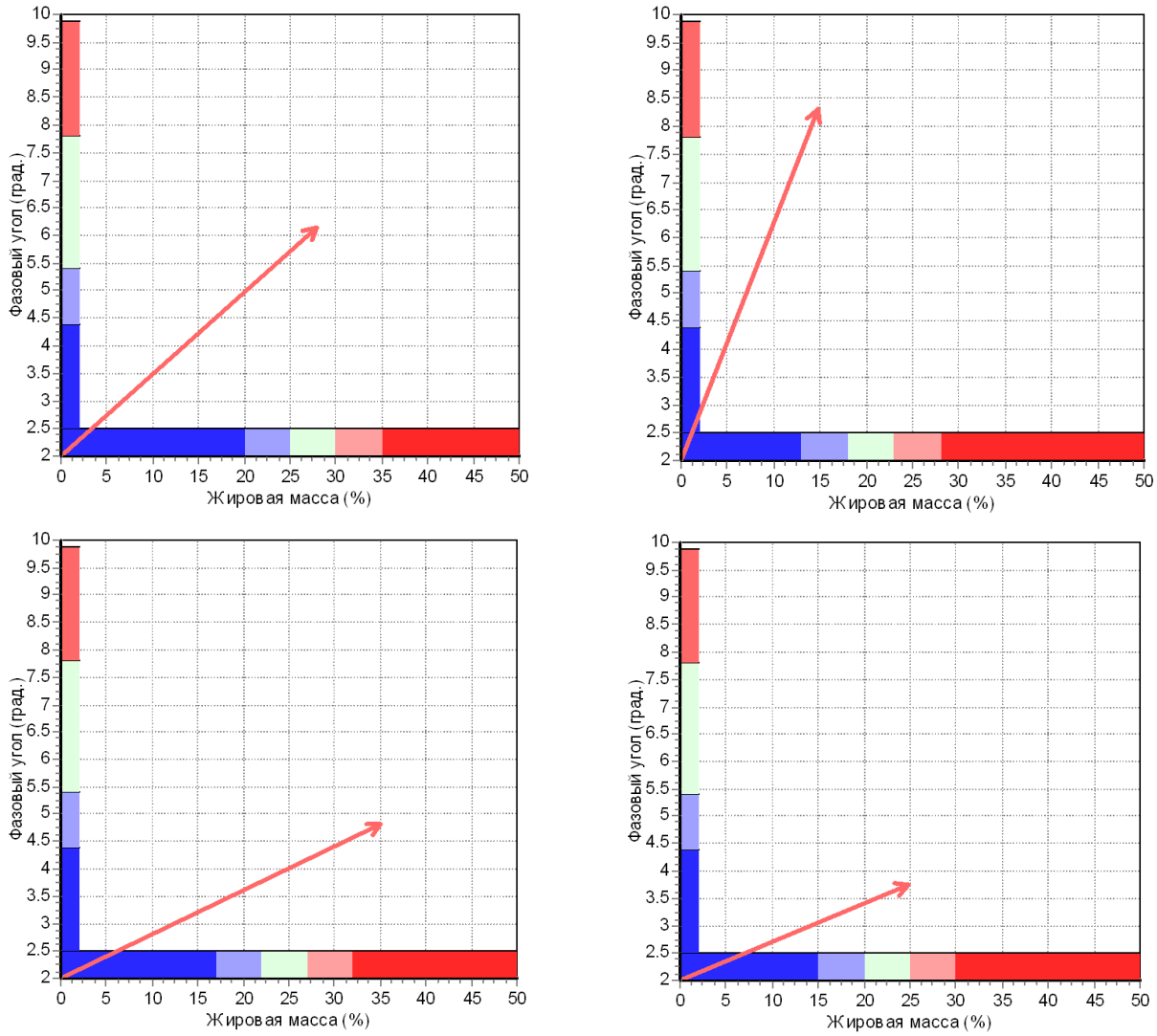
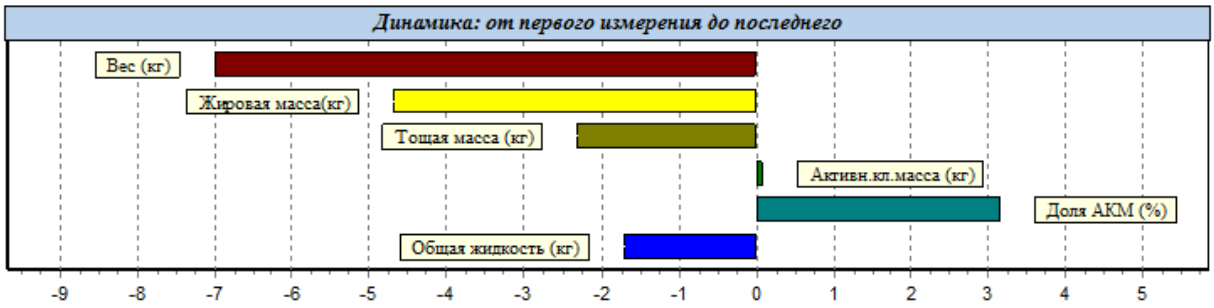


Рис. 4.12. Примеры типичных протоколов фазового угла. ФУ и %ЖМТ в области нормальных значений (вверху слева); повышенные значения ФУ и пониженные значения %ЖМТ, характерные для спортсменов (вверху справа); ФУ — в зоне гиподинамии, а %ЖМТ — на нижней грани ожирения (внизу слева); ФУ — в зоне катаболических сдвигов, что в данном случае обусловлено онкологическим заболеванием (внизу справа)

4.3. Динамические протоколы

4.3.1. Текущий протокол

Повторные биоимпедансные обследования позволяют оценить эффективность и скорректировать тактику лечения пациентов с различными заболеваниями, а в спортивной медицине — оценить эффективность тренировочного процесса и прогнозировать изменения физической работоспособ-



	Результаты измерений							Норма
Дата измерения	22.01.2013	06.03.2013	10.04.2013	21.05.2013	24.06.2013	30.07.2013	11.09.2013	
Время измерения	14:32:36	15:52:51	17:06:29	15:26:50	16:53:45	16:35:14	16:13:24	
Рост (см)	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	163.0	
Вес (кг)	**77.0**	**76.0**	**74.0**	**73.0**	**71.0**	**71.0**	**70.0**	
Изменение веса (кг)		-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	0.0	-1.0	
Индекс массы тела	29.0	28.6	27.9	27.5	26.7	26.7	26.3	18.5 - 25.0
Окружность талии (см)	88.0	88.0	87.0	87.0	85.0	82.0	81.0	
Окружность бедер (см)	109.0	108.0	107.0	106.0	104.0	103.0	105.0	
Индекс талия/бедра	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.80	0.77	0.71 - 0.85
R50 (Ом)	560	596	548	578	576	568	591	
Xc50 (Ом)	66	80	69	75	75	78	78	
R5 (Ом)	649	706	637	683	674	667	696	
Фазовый угол (град)	6.72	7.61	7.19	7.41	7.41	7.77	7.47	5,4 - 7,8
Жировая масса (кг)	**29.8**	**30.5**	**26.7**	**27.2**	**25.4**	**25.0**	**25.1**	8.7 - 16.3
Изменение ЖМ (кг)		0.7	-3.7	0.5	-1.8	-0.3	0.1	
Жировая масса (%)	**38.7**	**40.1**	**36.1**	**37.2**	**35.7**	**35.3**	**35.9**	20 - 30
Тощая масса (кг)	**47.2**	**45.5**	**47.3**	**45.8**	**45.6**	**46.0**	**44.9**	34.1 - 53.8
Акт.клет.масса (кг)	**27.0**	**27.7**	**28.0**	**27.5**	**27.4**	**28.3**	**27.1**	17.8 - 28.2
Изменение АКМ (кг)		0.7	0.3	-0.4	-0.1	0.8	-1.2	
Доля АКМ (%)	57.2	60.9	59.2	60.1	60.1	61.5	60.3	50 - 56
Скел.-мыш. масса (кг)	21.4	20.2	21.8	20.8	20.9	21.1	20.4	18.2 - 24.3
Скел.-мыш. масса (%)	45.4	44.5	46.1	45.4	45.7	45.9	45.4	43.5 - 48.0
Общая жидкость (кг)	34.6	33.3	34.6	33.6	33.4	33.6	32.9	25.0 - 39.5
Внеклеточная жидк. (кг)	14.7	14.0	14.6	14.0	14.0	14.1	13.7	11.3 - 14.8
Внутриклет. жидк. (кг)	19.9	19.3	20.0	19.5	19.4	19.6	19.2	
Изменение ОЖ (кг)		-1.2	1.3	-1.1	-0.1	0.2	-0.8	
Минеральная масса (кг)	2.716	2.584	2.704	2.587	2.580	2.595	2.523	2.17 - 2.90
Минер. м. мяг. тканей (кг)	0.461	0.446	0.463	0.449	0.448	0.451	0.440	0.38 - 0.48
Минер. м. костей (кг)	2.255	2.138	2.241	2.137	2.133	2.144	2.082	1.79 - 2.42
Основной обмен (ккал)	1469	1492	1500	1486	1482	1509	1472	
Удельн. обм. (ккал/кв.м)	815.9	833.4	847.6	844.4	851.9	867.2	850.6	777.0 - 900.0

Рис. 4.13. Текущий (динамический) протокол биоимпедансных измерений

ности спортсмена во время пиковых нагрузок в соревновательный период или при вынужденном снижении физической активности после травм и заболеваний.

Текущий протокол биоимпедансных измерений (рис. 4.13) генерируется программным обеспечением анализатора, начиная со второго обследования. Он содержит таблицу значений антропометрических и биоимпедансных параметров, гистограмму и таблицу изменений состава тела, а также оценки состава тела для первого и шести последних измерений на фоне интервалов нормальных значений признаков.

В случае резких изменений состояния гидратации в соответствующих ячейках таблицы появляется значок голубой капли. Наличие значка красной перевернутой капли в ячейке изменения АКМ означает резкое колебание АКМ в период между текущим и предыдущим измерениями, что может служить признаком избыточного или недостаточного усвоения белка в рационе питания, развития хронического заболевания катаболической направленности или быть связано с интенсивным тренировочным процессом.

4.3.2. Графические протоколы

Графические протоколы генерируются программным обеспечением анализатора, начиная с третьего обследования. Типовой графический протокол описывает динамику АКМ, ЖМТ и МТ. Дополнительно могут быть построены графики изменений до пяти произвольно выбранных параметров состава тела. Для разных групп обследованных набор параметров может быть разным с учетом специфики ожидаемых изменений состава тела.

На рис. 4.14 показан типичный протокол изменений состава тела пациента за четыре месяца процедуры коррекции веса и три последующих месяца контролируемого удержания веса. На рисунке видно, что результатом коррекции веса стало снижение жировой массы на 14,5 кг и массы тела на 17 кг. Значение АКМ увеличилось на 1,8 кг. В период удержания веса значения параметров практически не изменились.

Рассмотренный пример показал весьма высокий темп снижения жировой массы — на 0,75 кг в неделю. Снижение жировой массы происходило немонотонно: по два наблюдения зафиксировали незначительный прирост и отсутствие изменений жировой массы. В первом случае, скорее всего, это было связано с нарушением режима питания, а во втором случае

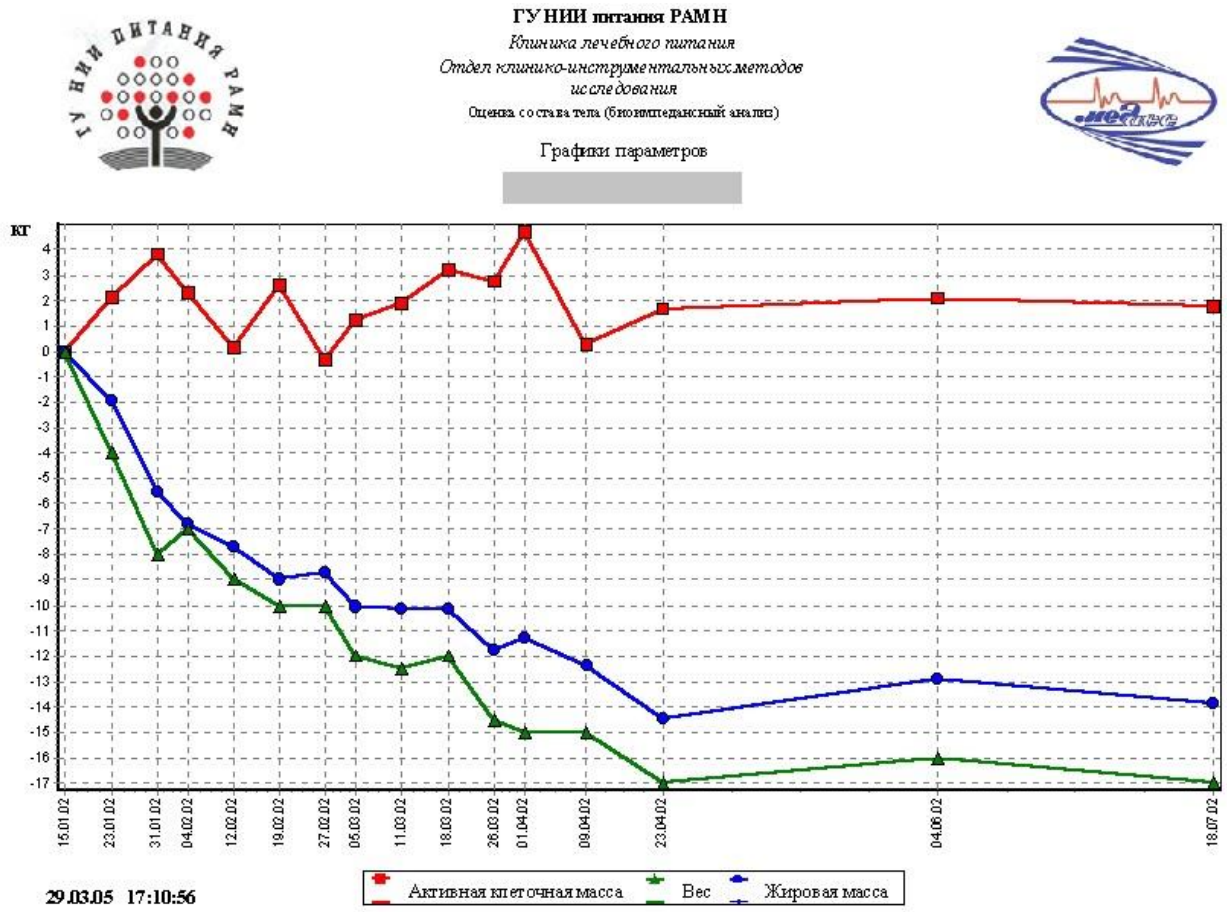


Рис. 4.14. Типичный графический протокол изменений АКМ, ЖМТ и массы тела в ходе процедуры коррекции веса и при последующем удержании результатов

стабилизация жировой массы могла быть следствием нормального адаптивного ответа организма на изменение питания. Дальнейшее снижение жировой массы происходило после назначения разгрузочных дней. Высокая амплитуда изменений АКМ свидетельствует о целенаправленных усилиях врача по увеличению и дальнейшему поддержанию белковой массы.

Еще один аспект анализа состояния пациента связан с оценкой потерь общей жидкости. Разность значений жировой массы и веса принято интерпретировать как потери безжировой массы, которая на 73 % состоит из воды. На рассматриваемом графике только единожды (при четвертом измерении) не наблюдалось потери жидкости. На первом этапе процедуры коррекции веса изменение массы тела часто происходит за счет потери жидкости.

На рис. 4.15 показан графический протокол динамического наблюдения пациента в ходе диетологического лечения при строгом сохранении АКМ и минимальных изменениях тощей массы. За 370 суток лечения жировая масса была снижена на 27 кг (средняя скорость снижения — 0,5 кг в

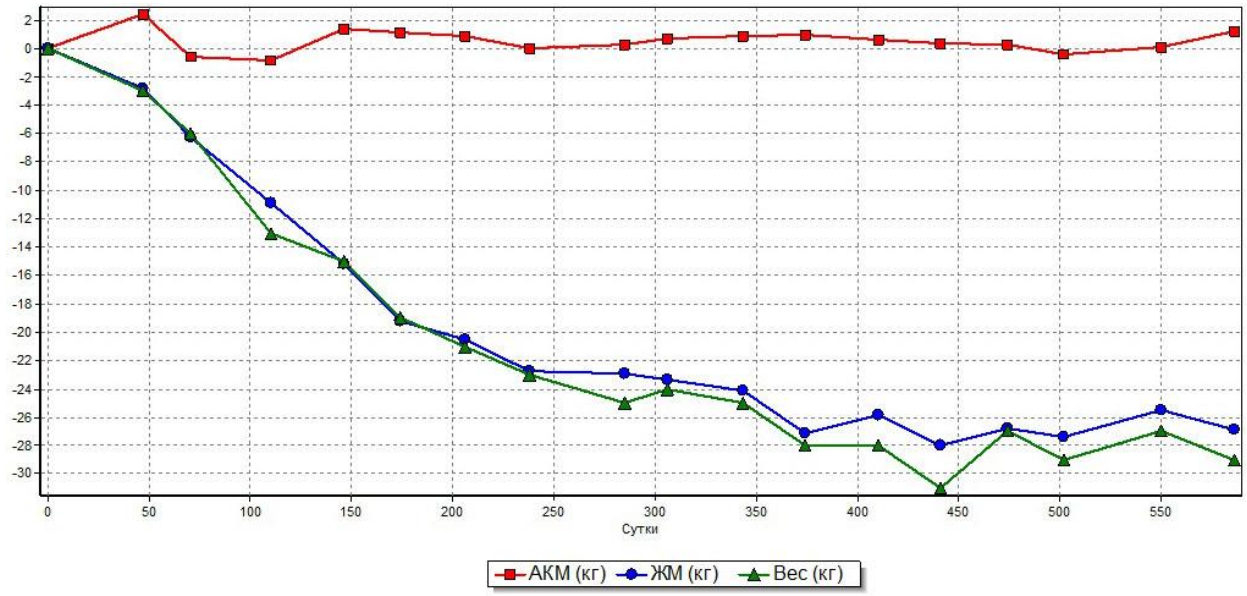


Рис. 4.15. Графический протокол изменений АКМ, ЖМТ и массы тела при длительной процедуре коррекции веса на фоне невысоких потерь жидкости

неделю). Затем пациент удерживал результаты коррекции веса, используя приобретенные навыки здорового питания и двигательной активности. Регулярные биоимпедансные измерения дали возможность пациенту и врачу сохранять уверенность в эффективности выбранной тактики удержания веса.

На рис. 4.16 показана другая разновидность графиков для традиционного набора параметров, используемых при контроле эффективности коррекции веса. Графики строятся раздельно на фоне центильных кривых для референтной общероссийской выборки. В рассматриваемом примере за полгода лечения жировая масса пациента уменьшилась на 32 кг, масса тела — на 36 кг (с 98 до 62 кг), при этом снижение тощей массы составило всего 6 кг. На первый взгляд, вполне приемлемый результат. Однако АКМ, снижение которой составило всего 3 кг, уже в середине срока лечения оказалась в нижнем квартиле референтного диапазона. Такая ситуация характерна для процедур коррекции веса, основанных только на снижении калорийности питания без дополнительной белковой поддержки, а также при самолечении. Правильной тактикой в рассматриваемом примере является увеличение АКМ на начальной стадии лечения на 1,5–2 кг (что соответствует середине нормы) и поддержание полученного результата на протяжении всего срока коррекции веса. Как правило, при средних и высоких значениях АКМ наблюдаемая скорость снижения жировой массы выше, чем при низких или пониженных значениях.

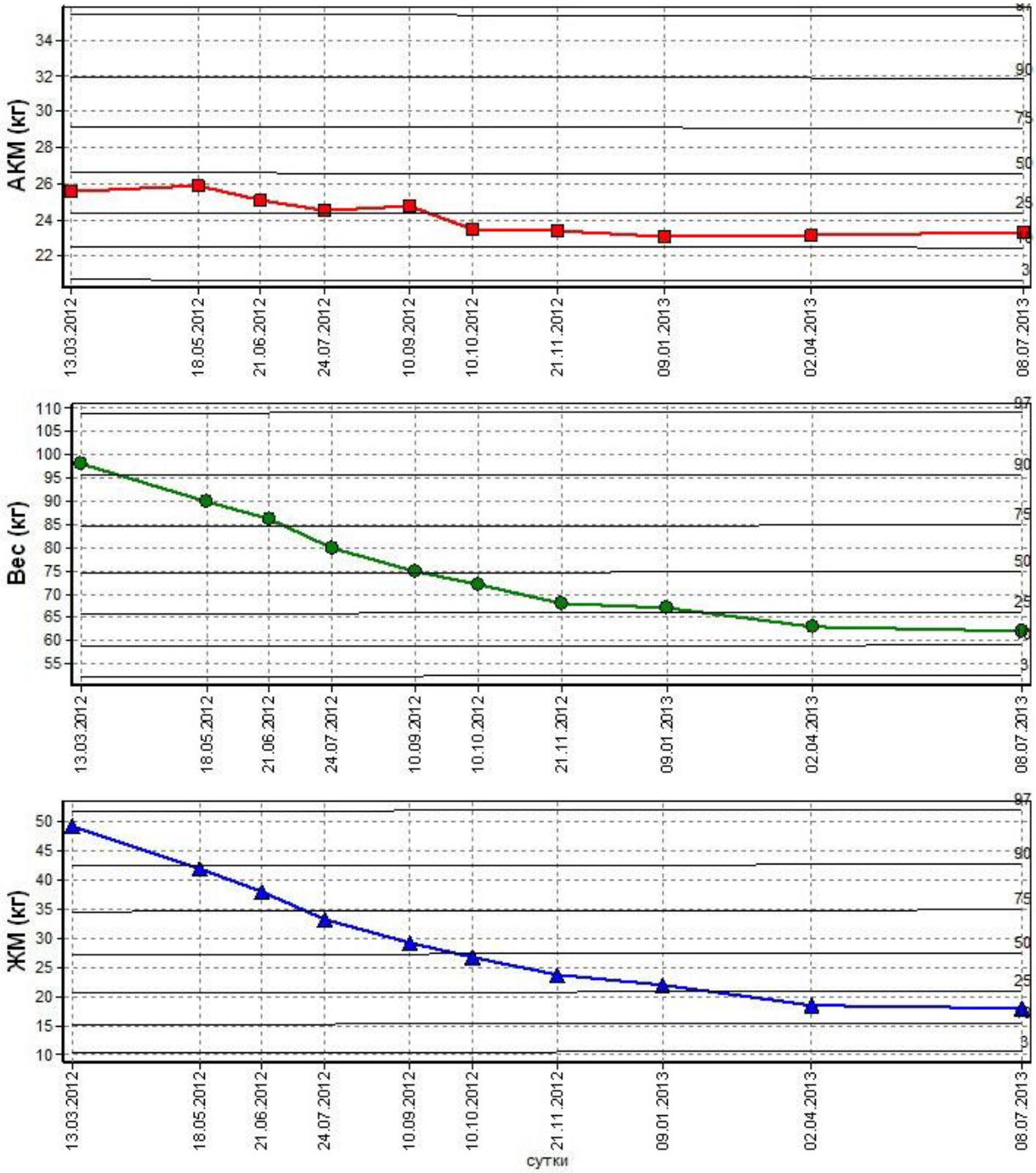


Рис. 4.16. Графический протокол изменений АКМ, ЖМТ и массы тела в ходе процедуры коррекции веса на фоне центильных кривых для референтной общероссийской выборки

Оптимальный набор параметров для биоимпедансного мониторинга состояния спортсменов включает фазовый угол, %ЖМТ и %СММ в тощей массе. На рис. 4.17 показан графический протокол изменений состава тела 19-летнего футболиста в ноябре 2008 — январе 2009 года. На графике видно резкое увеличение %ЖМТ и уменьшение фазового угла в результате увеличения калорийности питания и снижения физической активности

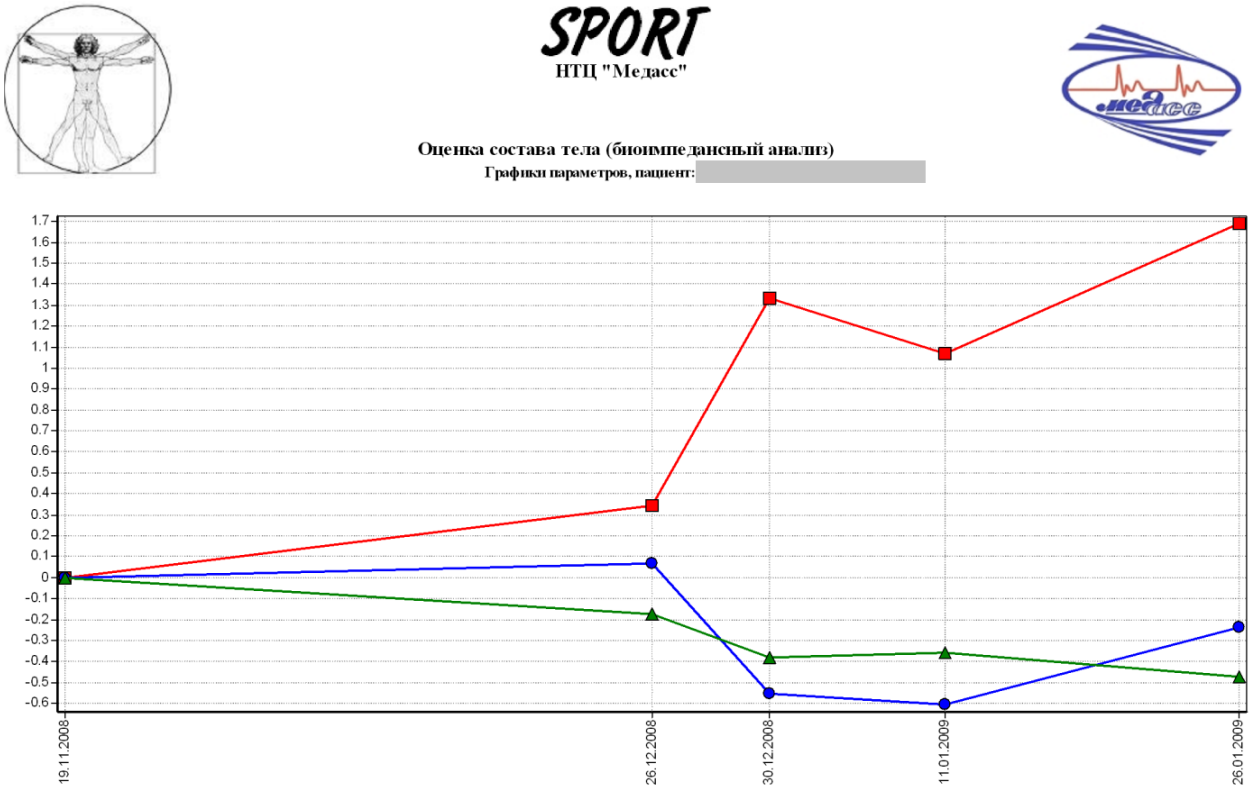


Рис. 4.17. Графический протокол биоимпедансных измерений молодого футболиста. Красный цвет соответствует %ЖМТ, синий — фазовому углу, зеленый — %СММ в тощей массе

в период новогодних праздников. Уменьшение %СММ выражено не так заметно.

Данный пример иллюстрирует высокую чувствительность метода к краткосрочным изменениям структурных (жировая, скелетно-мышечная масса) и функциональных (фазовый угол) параметров, которые невозможно или достаточно трудно определить традиционными антропометрическими методами.

4.3.3. Центильные представления данных

Один из способов объективной оценки изменений состава тела заключается в представлении данных на фоне центильных кривых (см. приложение 1).

На рис. 4.18–4.20 приведены три фрагмента графических протоколов «Центили», доступных в программном обеспечении анализатора состава тела «АВС-01 МЕДАСС», для параметров %ЖМТ, фазового угла и ВКЖ. На фоне центильных кривых точками обозначены отдельные измерения пациентки, исходное значение массы тела которой составило 87 кг. Начальные точки на каждом рисунке обведены квадратами. На рисунках

видно, что %ЖМТ снизился с 85-го до 49-го центиля, фазовый угол увеличился с 42-го до 71-го центиля, а внеклеточная жидкость снизилась с 92-го до 63-го центиля. Таким образом, все указанные параметры удалось нормализовать — сместить их в коридор между 25-м и 75-м центилями.

Еще одним вариантом использования центильных кривых может быть сравнение результатов выборочных исследований отдельных спортивных, профессиональных и клинических групп с общей популяцией.

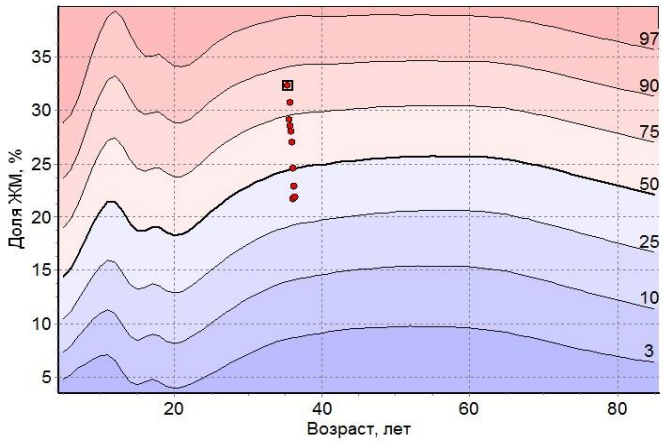


Рис. 4.18. Графический протокол «Центили»: снижение %ЖМТ пациентки в ходе процедуры коррекции веса. Начальная точка обведена квадратом

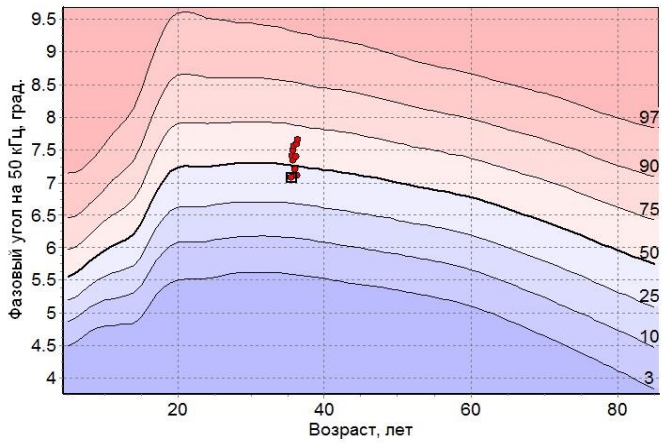


Рис. 4.19. Графический протокол «Центили»: увеличение значений фазового угла пациентки в ходе процедуры коррекции веса. Начальная точка обведена квадратом

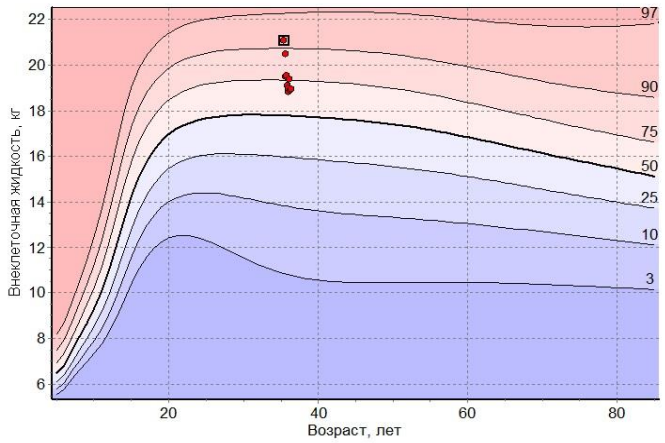


Рис. 4.20. Графический протокол «Центили»: снижение объема ВКЖ пациентки в ходе процедуры коррекции веса. Начальная точка обведена квадратом

На рис. 4.21 слева приведена диаграмма рассеяния значений фазового угла для группы из 82 высококвалифицированных спортсменов-регбистов.

Практически все спортсмены имели значения фазового угла выше, чем у половины россиян того же пола и возраста. Три спортсмена имели значения фазового угла выше 97-го центиля. Наведение курсора мыши на соответствующую точку графика протокола биоимпедансного исследования позволяет узнать, какому именно спортсмену она соответствует. Медианные значения фазового угла (полиномиальное приближение второго порядка, полужирная синяя линия на рис. 4.21 слева) располагались выше 75-го центиля для референтной общероссийской выборки. У юных спортсменов межквартильный интервал незначительно отличался от общепопуляционного, а к 20 годам существенно поднимался.

На рис. 4.21 справа показаны те же данные с непосредственно рассчитанными медианами (полужирные синие горизонтальные линии), а также верхним и нижним квартилями (тонкие синие горизонтальные линии). Такое представление более громоздкое, но позволяет подробнее сопоставить данные в возрастном аспекте.

Таким образом, рассматриваемая группа регбистов имела существенно более высокие значения фазового угла, чем общая популяция. Можно предположить, что до 20 лет уровень мастерства спортсменов повышается в основном за счет улучшения физических кондиций, а в старших возрастах — за счет совершенствования технических и тактических навыков.

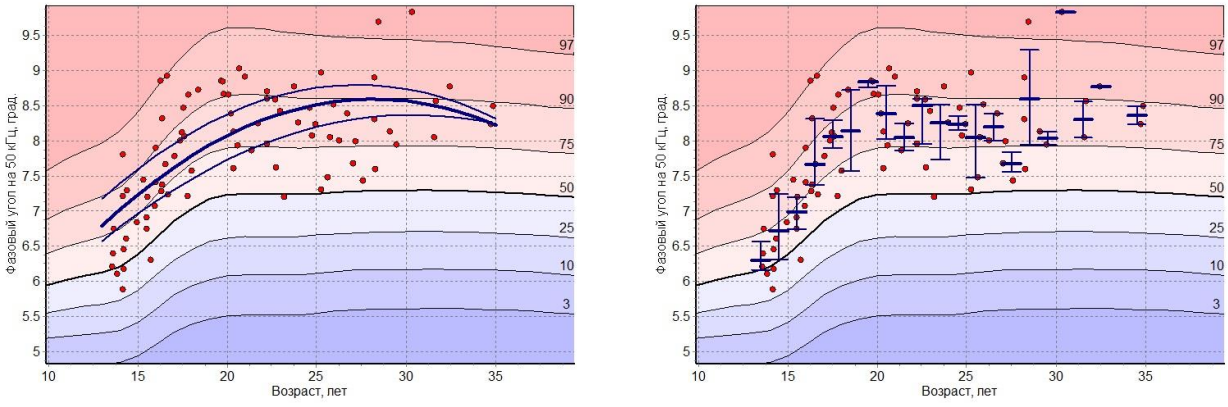


Рис. 4.21. Диаграмма рассеяния, медиана и интерквартильный размах значений фазового угла высококвалифицированных спортсменов-регбистов на фоне центильных кривых для общей популяции по данным центров здоровья. Слева — полиномиальное приближение второго порядка, справа — расчеты выполнены по годичным возрастным интервалам

Графическое центильное представление параметров популяции может служить удобным инструментом для оценки степени соответствия данной

популяции рассчитанным какое-то время назад средним значениям. В качестве примера на рис. 4.22 показана возрастная динамика роста и веса условного человека по данным Международной комиссии по радиологической защите на фоне центильных кривых для референтной общероссийской выборки.

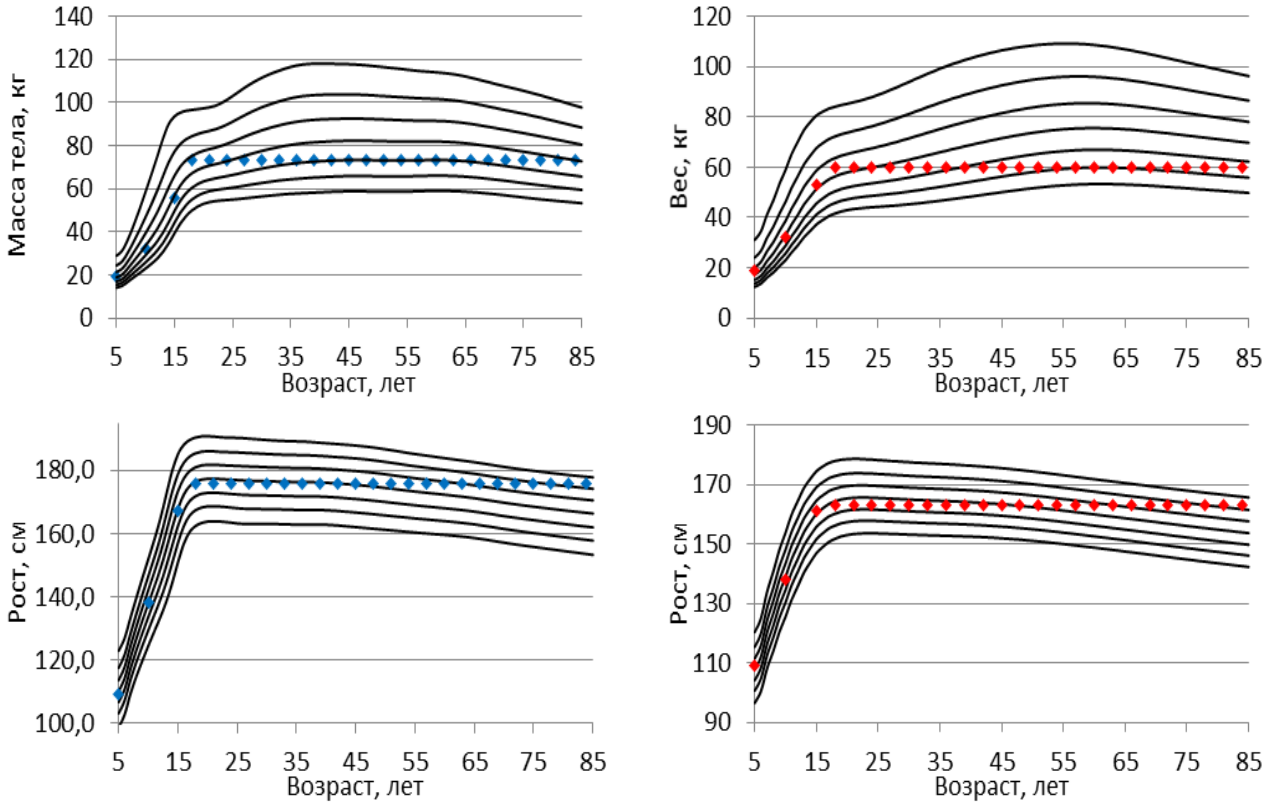


Рис. 4.22. Зависимость от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей массы тела (верхний ряд) и роста (нижний ряд) по данным центров здоровья и справочника «Человек. Медико-биологические данные» (2002): слева — мужчины, справа — женщины

Лекция 5.
РЕЗУЛЬТАТЫ СКРИНИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во многих странах биоимпедансный анализ состава тела успешно применяется при массовых обследованиях населения для оценки нутритивного статуса, двигательной активности, выявления рисков развития ряда заболеваний. В этом разделе будут рассмотрены результаты нескольких отечественных и зарубежных исследований

5.1. Исследования 2008–2010 годов

Первые опубликованные в России исследования подобного рода касались изучения питания и двигательной активности школьников. В 2008 году были обследованы учащиеся двух школ города Тамбова. Численность обследованных в каждой из них составила более 350 детей и подростков. На рис. 5.1 представлены результаты обработки этого исследования. Слева показана гистограмма распределения численности школьников в градациях нормы по проценту жировой массы: истощение, норма, избыточный вес и ожирение. Справа — гистограмма с численностями групп, в градациях нормы двигательной активности (по проценту активной клеточной массы в тощей массе) тех же школьников: гиподинамия, нормодинамия, спортивные результаты.

Из гистограммы на рис. 5.1 слева видно, что различия в распределении численностей в градациях по проценту жировой массы невелики. Это означает, что существенной разницы в питании учащихся двух школ не

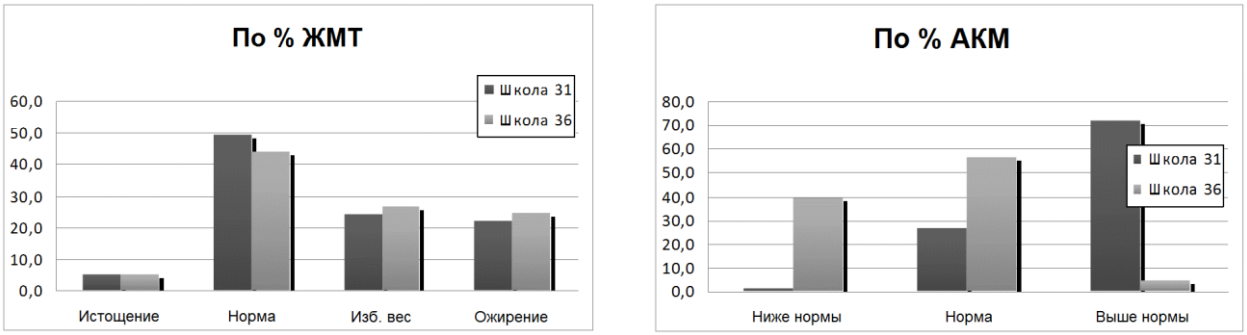


Рис. 5.1. Распространенность избыточного веса, ожирения и истощения по проценту жировой массы (слева), а также градаций «ниже нормы», «норма» и «выше нормы» по проценту активной клеточной массы (справа) в двух средних школах г. Тамбова, осень 2008 г.

наблюдалось. Анализ гистограммы данных по проценту активной клеточной массы в тощей массе показывает весьма существенные различия в двигательной активности учащихся двух школ. В одной из них около 40 % находятся в состоянии гиподинамии, в другой — только 2%, в одной — двигательная активность выше нормы у 4 %, в другой — у 72 %. И действительно, оказалось, что одна из школ — обычная, без спортивных секций, с типовой организацией процесса физического воспитания, вторая школа — спортивная.

Сниженные значения двигательной активности в детском и подростковом возрасте отражаются на физическом развитии и повышают риски как инфекционных, так и неинфекционных заболеваний. Данные этого исследования поднимают вопрос о целесообразности оценки значений показателей, отвечающих за двигательную активность и питание школьников, в масштабах всей страны и в отдельных регионах.

Возможность получения такой информации предоставляет сеть из более чем 500 взрослых и 200 детских центров здоровья, созданная в 2009–2010 годах и охватывающая практически все население России. В 2011 году были опубликованы данные выборочного исследования состава тела по нескольким регионам европейской части России (рис. 5.2).

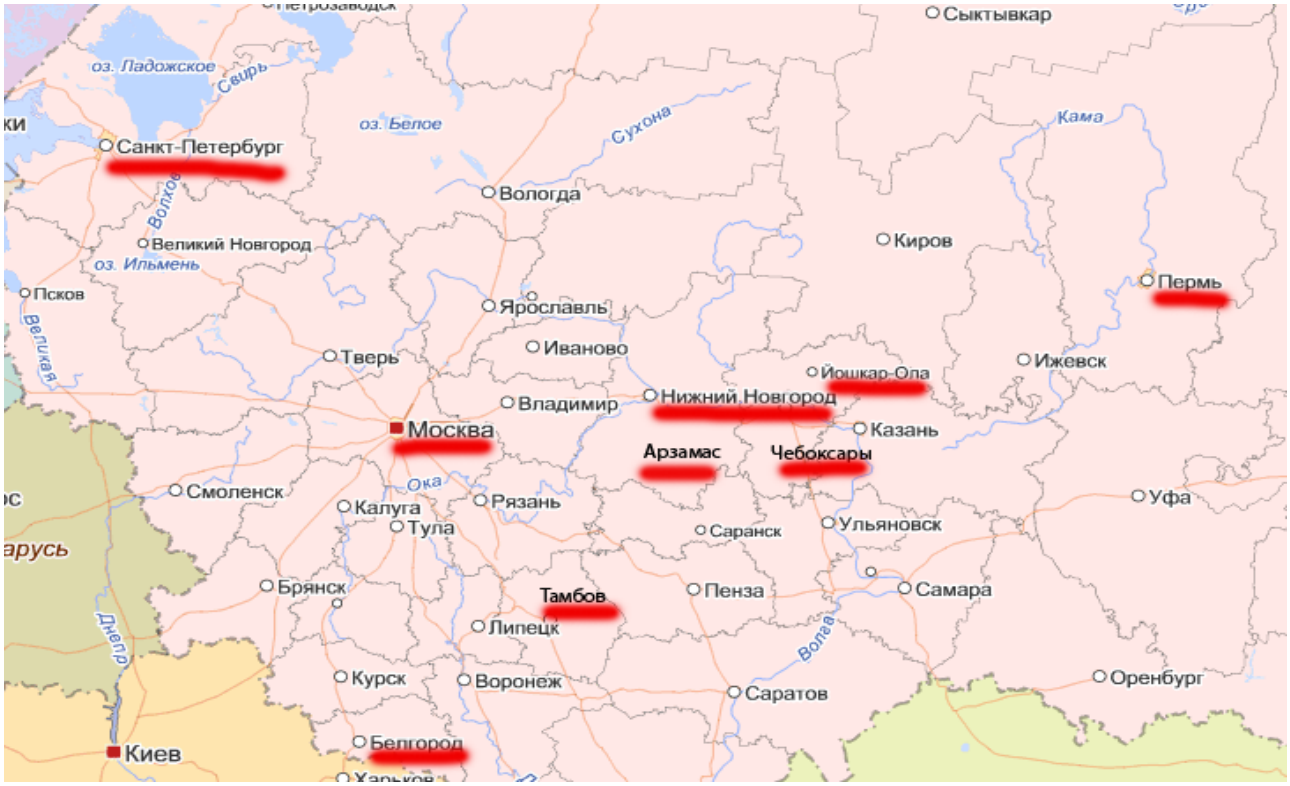


Рис. 5.2. Карта исследования состава тела детей и подростков в 2010–2011 гг. (n = 25 785)

Общее число обследованных в диапазоне возрастов от 7 до 17 лет — 25 785 человек. Итоговые средние значения численности детей и подростков в категории «гиподинамия» составили более 36 % и подтверждают опасения о неблагополучии наблюдаемой ситуации. Исследования, проведенные в Республике Марий Эл, показали, что в сельских районах распространенность состояния гиподинамии среди детей и подростков выше, чем среди городского населения республики.

Третье исследование опиралось на рекордно большой объем экспериментального материала, полученного в центрах здоровья, где технология биоимпедансного анализа штатно применяется с 2009 года. В центрах здоровья на основе биоимпедансных исследований состава тела формируется ряд диагностических заключений и оценок риска заболеваний. В табл. 5.1 соотнесены параметры состава тела и основные направления их использования при обследованиях в центрах здоровья.

За 2010–2012 годы были собраны и подверглись первичной обработке данные скрининговых обследований населения России. После удаления артефактных измерений в базе данных содержалось 819 808 биоимпе-

Таблица 5.1. Параметры состава тела и метаболические корреляты, используемые для оценки рисков заболеваемости и смертности, а также для выявления нарушений состояния питания, гидратации и двигательной активности

Параметр	Для чего используется (область применения)
%ЖМТ	Классификация содержания жира в организме, выявление избыточного веса, ожирения, липодистрофии, оценка риска метаболического синдрома, характеристика достаточности питания
ЖМТ	Численная оценка избытка или недостатка жировой массы в организме
ТМ (БМТ)	Характеристика конституциональных особенностей, выявление катаболических сдвигов
АКМ	Характеристика белкового депо организма, достаточности белковой компоненты питания
%АКМ, ФУ	Классификация уровня двигательной активности, выявление гиподинамии, выявление катаболических сдвигов
ОВО, ВКЖ	Характеристика состояния гидратации организма, выявление отеков и дисгидрий
СММ	Характеристика развития скелетно-мышечной ткани
%СММ	Характеристика физической работоспособности, выявление риска инвалидности у пожилых людей

дансных исследований состава тела и более 2 млн антропометрических измерений. На рис. 5.3 и 5.4 приводятся распределения численности обследованных по возрасту и половой принадлежности. Среди взрослого населения России основной пик посещаемости в центрах здоровья пришелся на возраст 50–60 лет, при этом женщины обследовались в 3,6 раза чаще мужчин, что свидетельствует о более внимательном отношении женской половины населения к своему здоровью.

Локальный максимум абсолютной посещаемости центров здоровья в возрасте 50–60 лет соответствует периоду высокой распространенности ожирения и заболеваний сердечно-сосудистой системы, а минимум посещений пациентов возраста 68–72 лет — низкой рождаемости в период Великой Отечественной войны. Распределения абсолютных и относительных (по проценту охвата населения данного возраста) численностей мальчиков и девочек отличались мало, при этом подростки и лица юношеского возраста обследовались гораздо чаще молодых женщин и мужчин, что объясняется развитием сети детских центров здоровья и организацией в ряде регионов России массовых обследований школьников.

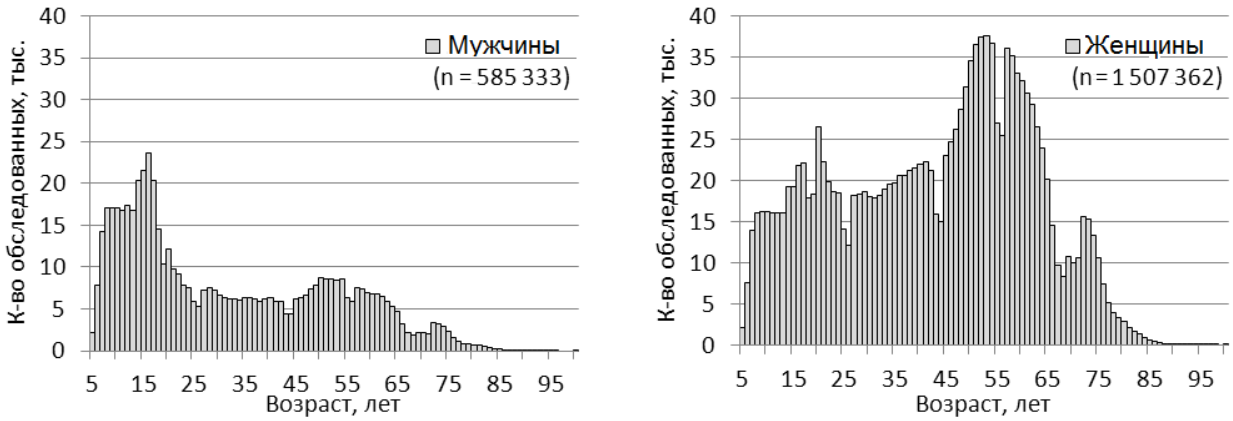


Рис. 5.3. Возрастные распределения численности прошедших антропометрическое обследование в центрах здоровья (n = 2 092 695)

На основе данных этого исследования были созданы центильные таблицы (Руднев С.Г. и др., 2014) антропометрических, импедансных параметров и параметров состава тела для отечественной популяции по состоянию на 2011–2012 годы. Графики зависимостей от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 93-го центилей этих параметров приведены в приложении 1.

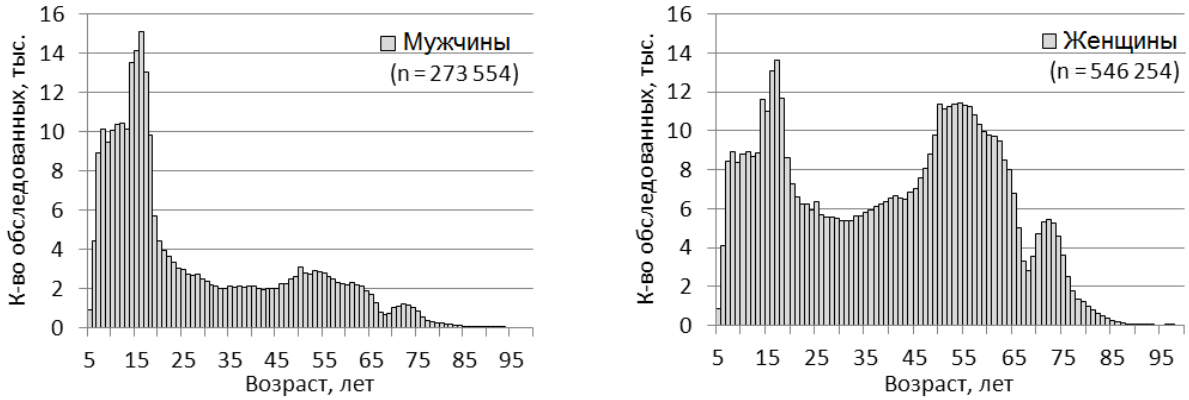


Рис. 5.4. Возрастные распределения численности пациентов, обследованных в центрах здоровья по методике биоимпедансометрии с использованием анализаторов «АВС-01 МЕДАСС» (n = 819 808)

5.2. Оценка распространенности избыточной массы тела, ожирения и истощения

На основе классификации значений ИМТ по критериям ВОЗ в общей выборке обследованных по методике биоимпедансометрии в центрах здоровья (n = 2 092 695) были получены оценки распространенности избыточной массы тела и ожирения среди населения России (рис. 5.5).

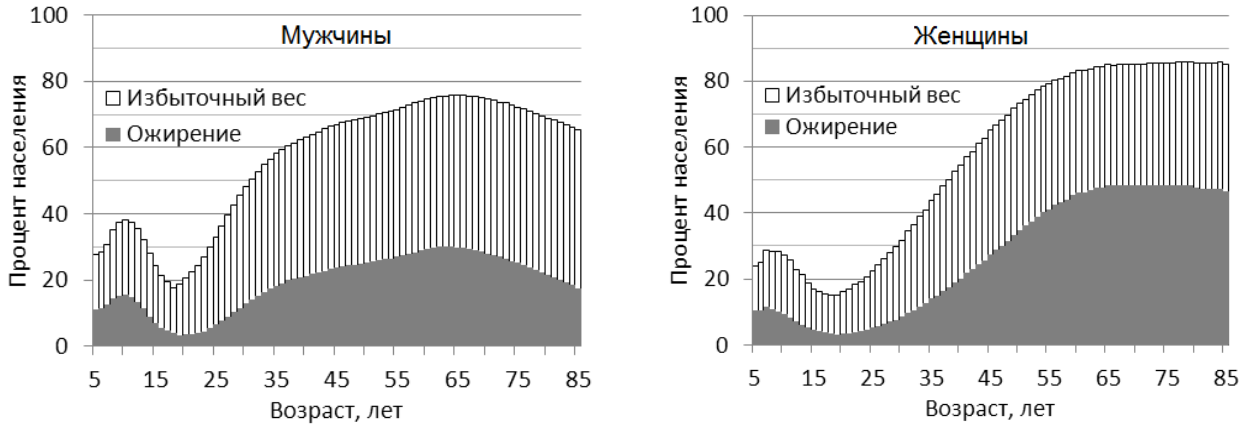


Рис. 5.5. Оценка распространенности избыточной массы тела и ожирения по ИМТ согласно критериям ВОЗ среди населения России, по данным центров здоровья (n = 2 092 695)

Показано, что процент взрослого населения с избыточной массой тела устойчиво увеличивается с возрастом до 55–60 лет, достигая 80–85 % у женщин и 75–80 % у мужчин. Максимальная частота ожирения наблюдалась в возрасте 60 лет и составила 30 % у мужчин и 50 % у женщин, что

соответствует данным о высокой распространенности у людей данного возраста гипертонической болезни, сахарного диабета 2-го типа, нарушений функции опорно-двигательного аппарата и других хронических заболеваний.Результаты сравнительного исследования распространенности избыточного веса и ожирения по данным индекса массы тела населения в возрасте от 25 до 64 лет ряда европейских стран приведены в работе Doak et al. (2012). На рис. 5.6 показано распределение в порядке ранговых мест распространенности ожирения между странами, входящими в группу исследованных. Распространенность ожирения у российских мужчин занимает промежуточное положение среди рассматриваемых стран — 6-е место, а у российских женщин — наиболее высокая.

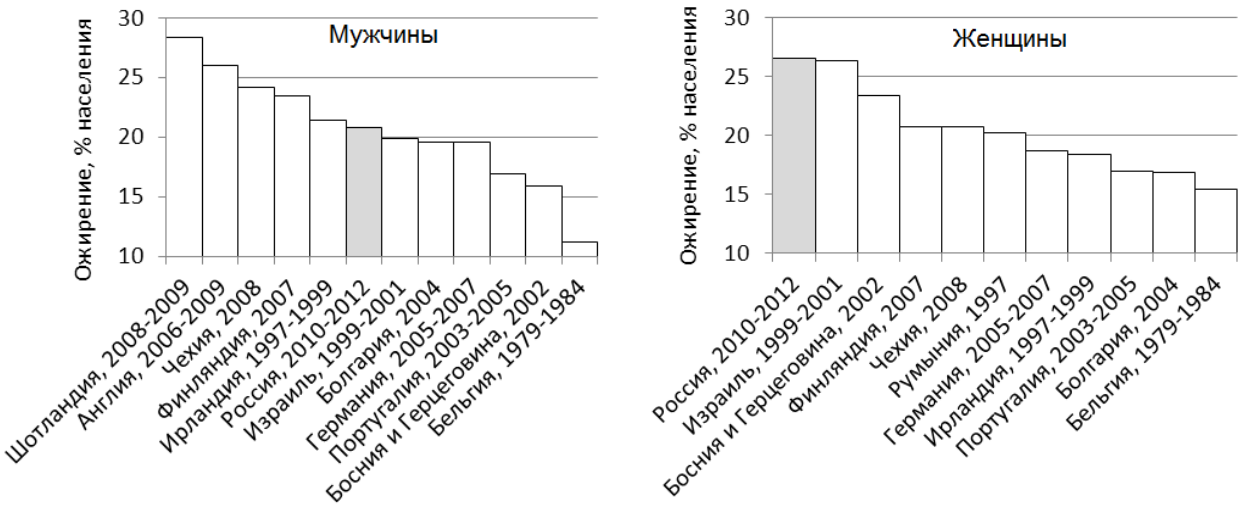


Рис. 5.6. Распределение в порядке ранговых мест стандартизованных оценок распространенности ожирения среди населения в возрасте от 25 до 64 лет России (данные центров здоровья, n = 819 808) и некоторых европейских стран (Doak et al., 2012)

Оценки распространенности абдоминального ожирения у мужчин и женщин по критериям ВОЗ на основе измеренных значений обхвата талии (рис. 5.7) качественно и количественно хорошо согласуются с оценками по индексу массы тела. При этом у женщин распространенность абдоминального ожирения по обхвату талии в старших возрастных группах была несколько выше, чем по ИМТ.

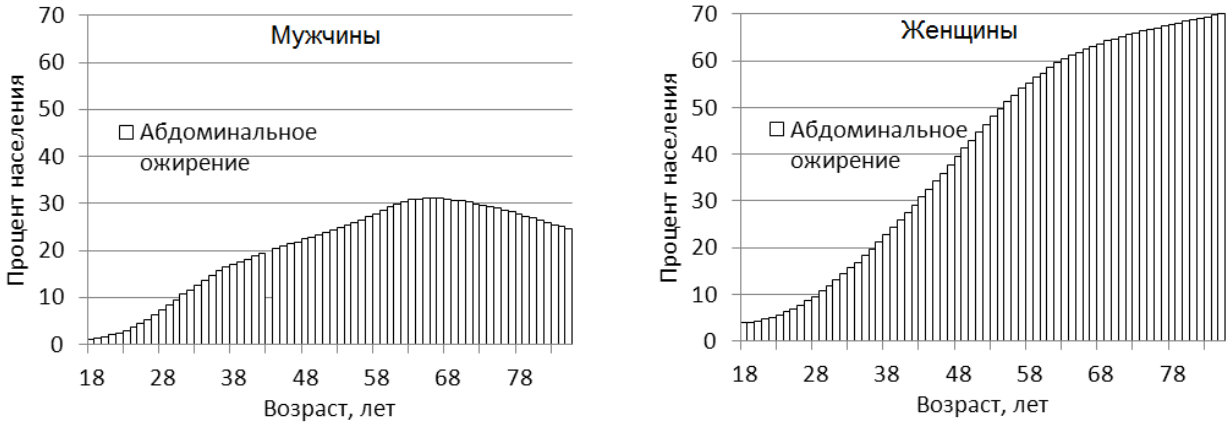


Рис. 5.7. Оценка распространенности абдоминального ожирения среди населения России по величине обхвата талии (критерии ВОЗ), данные центров здоровья (n = 819 808)

Оценки распространенности абдоминального ожирения у мужчин и женщин по критериям ВОЗ на основе отношения измеренных значений обхвата талии к обхвату бедер (ОТ/ОБ) представлены на рис. 5.8. Видно, что абдоминальное ожирение мужской части населения России развивается в более раннем возрасте. Порог 30 % распространенности у мужчин преодолевается в 36 лет, а у женщин — в 52 года; максимальные значения распространенности (70 %) у мужчин достигаются в 63 года, у женщин — в 83 года.

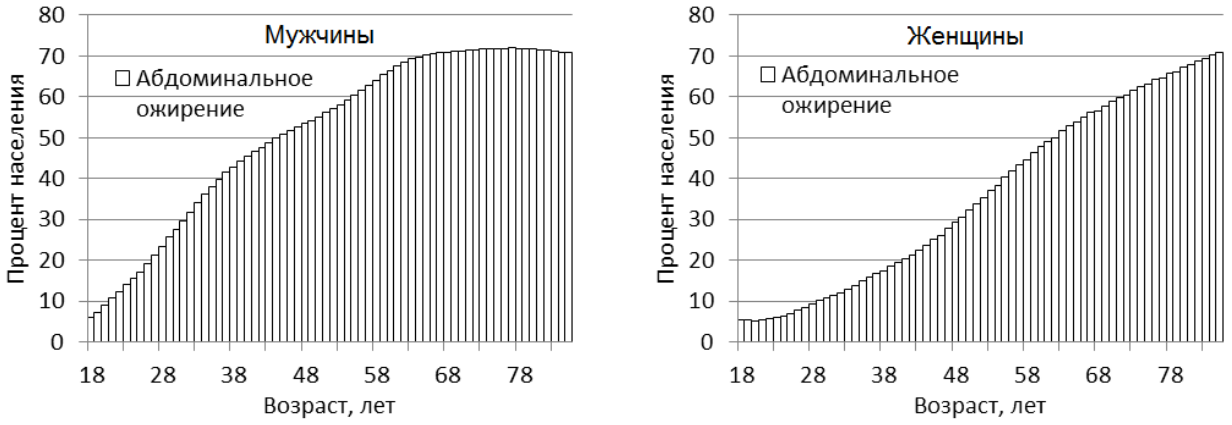


Рис. 5.8. Оценка распространенности абдоминального ожирения среди населения России по значениям ОТ/ОБ (критерии ВОЗ), данные центров здоровья (n = 819 808)

На рис. 5.9 показаны результаты оценки распространенности истощения среди населения России по критериям ВОЗ в зависимости от возраста и пола. Можно видеть, что в рассматриваемом возрастном диапазоне среди лиц мужского пола истощение и тяжелое истощение максимально рас-

пространены в 14–16 лет (до 3,5 и 0,5 % соответственно), а среди лиц женского пола — в возрасте 5–6 лет (5,3 и 0,5 % соответственно). Фактором риска истощения для мужчин является возраст 5–20 лет, а для женщин — 5–35 лет. Данные о распространенности тяжелой формы истощения среди женщин имеют разрыв в возрасте 17–18 лет, что, вероятно, обусловлено повышенным вниманием девушек в этом возрасте к параметрам своей фигуры и, как результат, ростом нервной анорексии.

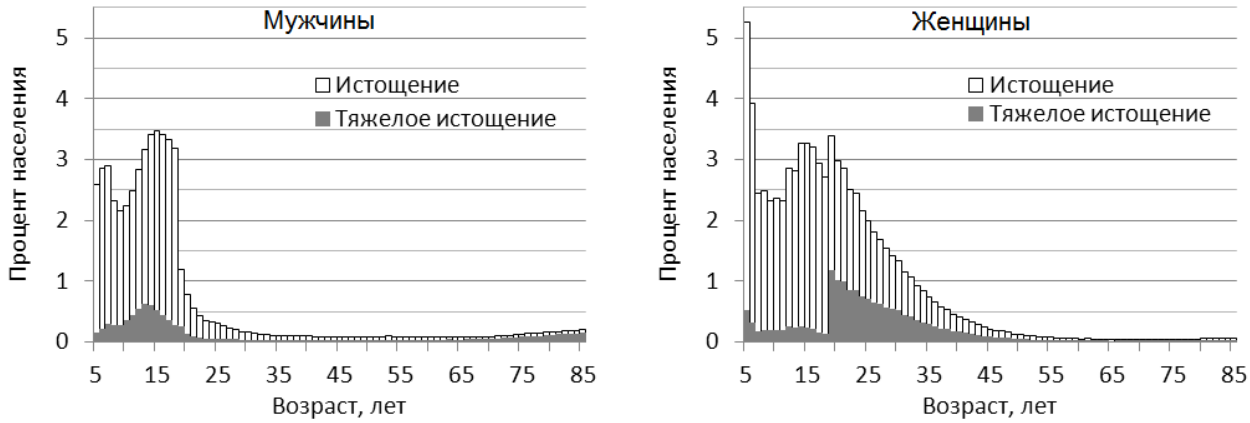


Рис. 5.9. Оценка распространенности истощения по критериям ВОЗ среди населения России, данные центров здоровья (n = 819 808)

5.3. Физическое развитие детей: сравнение с таблицами И. М. Воронцова

При проведении массовых профилактических осмотров для индивидуальной характеристики процессов роста и развития детей применяются центильные таблицы, среди которых чаще других цитируемы таблицы И. М. Воронцова (Воронцов, 1986; Воронцов, Мазурин, 2009). На рис. 5.10 и 5.11 дано сравнение межквартильных размахов длины и массы тела у детей 5–17 лет, обследованных в центрах здоровья (n = 246 451, см. приложение 1), с данными И. М. Воронцова. Нижние линии соответствуют 25-му центилю, верхние — 75-му, а интервал между ними характеризует средние значения признаков, свойственные половине детей данного пола и возраста.

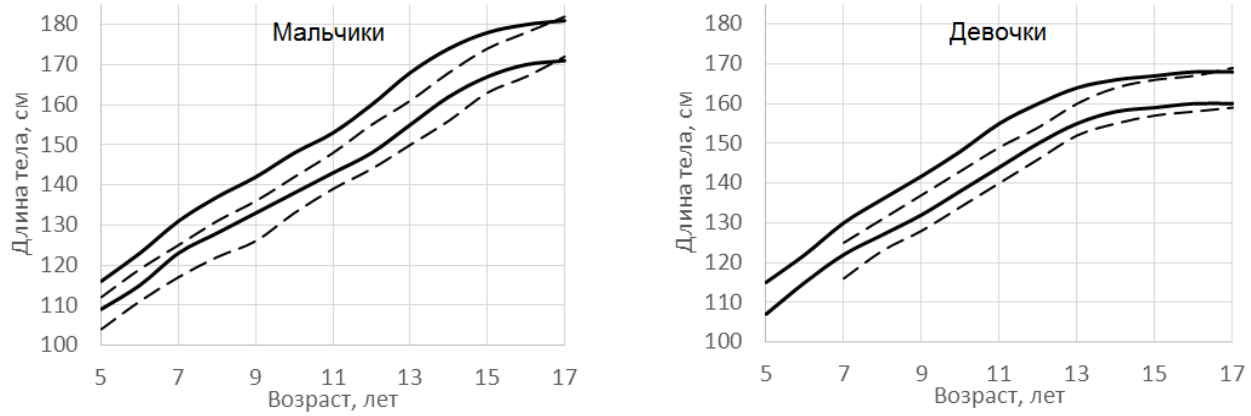


Рис. 5.10. Межквартильные размахи значений длины тела у детей 5–17 лет, обследованных в центрах здоровья (сплошные линии — см. приложение 1, рис. П1.3 и П1.4), сравнение с данными И. М. Воронцова (пунктирные линии)

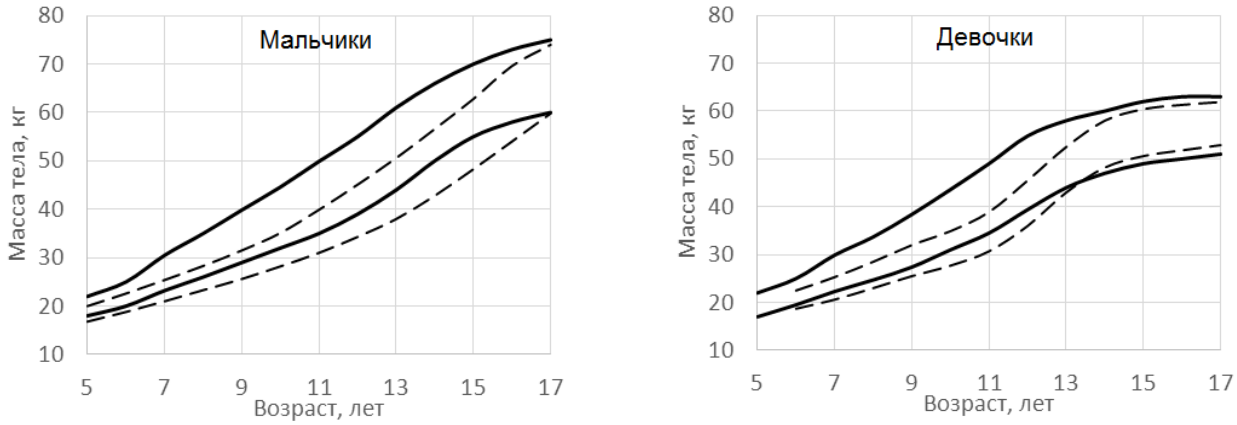


Рис. 5.11. Межквартильные размахи значений массы тела у детей 5–17 лет, обследованных в центрах здоровья (сплошные линии — см. приложение 1, рис. П1.1 и П1.2), сравнение с данными И. М. Воронцова (пунктирные линии)

В большинстве возрастных групп современные дети имели в среднем бóльшие значения длины и массы тела. Максимальные различия на верхних квартилях длины тела составили 5–7 см, а массы тела — 8–10 кг. Интересно, что в возрасте 17 лет рассмотренные кривые исследований 1986 и 2012 годов пересекаются. Это означает, что часть популяции, рожденная до 1995 года, отличалась от обследованных в 1986 году в худшую сторону. И этому есть логичное объяснение — социально-экономические условия в России начала 1990-х годов.

5.4. Сравнение популяций по значениям фазового угла

В работе Bosy-Westphal A. et al. (2006) дана характеристика изменчивости фазового угла импеданса в зависимости от возраста и пола по дан-

ным биоимпедансного обследования 230 тысяч жителей ФРГ. На рис. 5.12 представлено сравнение данных половозрастной изменчивости значений фазового угла в общероссийской выборке пациентов центров здоровья с результатами указанной работы и цитированными в ней данными для США и Швейцарии (Kyle et al., 2001; Barbosa-Silva et al., 2005).

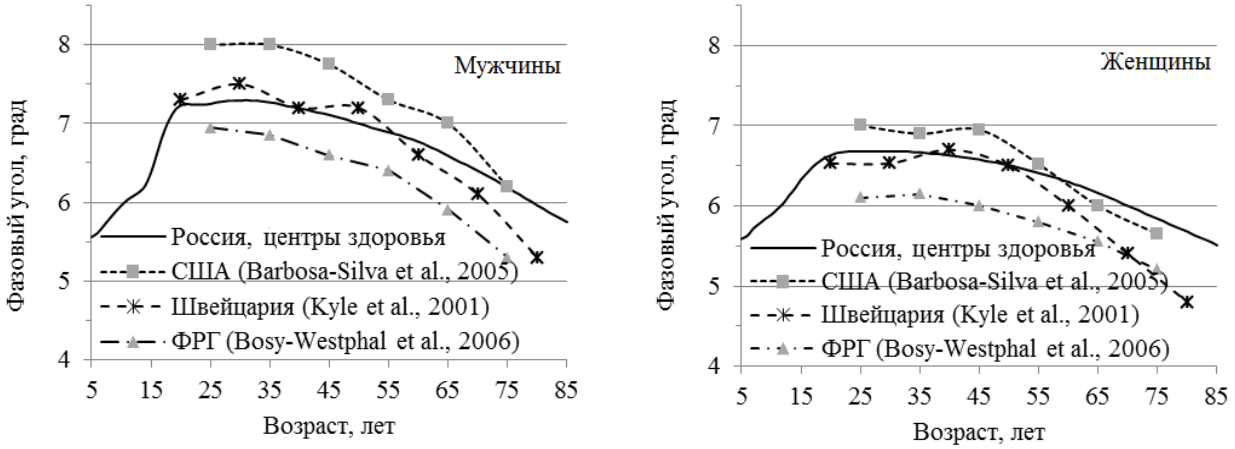


Рис. 5.12. Возрастные зависимости медианных значений фазового угла для населения России, США, Швейцарии и ФРГ

Из рис. 5.12 следует, что в возрасте 20–55 лет «российские» значения фазового угла близки к «швейцарским», а в более старшем возрасте — к «американским» образца 1988–1994 годов. Напомним, что с величиной фазового угла импеданса высоко коррелирует процентное содержание активной клеточной массы в безжировой массе тела. Поэтому повышенные значения фазового угла, при прочих равных условиях, отражают более высокий уровень функциональных возможностей организма. Вместе с тем для верной интерпретации данных на рис. 5.12 необходимо как минимум исключить влияние различий жировой массы ввиду наличия корреляции фазового угла с ЖМТ (Bosy-Westphal et al., 2006).

Лекция 6.
БИОИМПЕДАНСНЫЙ АНАЛИЗ В СПОРТЕ

Основные направления использования медицинских диагностических методов в спорте могут быть сформулированы следующим образом:

— оценка предстартовой готовности;

— построение тактики реабилитации после травм, заболеваний, перегрузок в ходе тренировочной и соревновательной деятельности и оптимизация адаптационного процесса в новых природно-климатических условиях, при смене часовых поясов;

— осуществление профессионального отбора начинающих спортсменов.

Квалифицированному спортивному врачу и тренеру биоимпедансный анализ состава тела дает ценную информацию по всем перечисленным направлениям, но не может заменить другие методы, которые исследуют широкий комплекс физиологических и психологических аспектов, касающихся здоровья и профессиональных кондиций спортсмена.

Определим место биоимпедансного анализа в оценке предстартовой готовности. Компонентами такой оценки являются:

1) техническая и тактическая подготовка;
2) психологическая мотивация, психофизиологическое состояние;
3) текущее состояние и резервные возможности сердечно-сосудистой системы;
4) оценка жировой массы, объема и тренированности мышечной системы, степень гидратации организма, уровень метаболической активности.

Из перечисленного видно, что только для четвертого блока требуется информация, полученная из биоимпедансного анализа состава тела.

6.1. Особенности применения метода

Ежедневные значительные физические нагрузки спортсменов оставляют для проведения биоимпедансных исследований одно время — утром перед завтраком. Пропускная способность методики при повторных исследованиях, требующих только коррекции значений веса, составляет 2–2,5 минуты на человека. Анализ результатов и выработка рекомендаций

могут выполняться сразу после исследований или быть перенесены на более позднее время, в соответствии с целями тестирования.

Периодичность исследований определяется текущими задачами подготовки спортсмена. В соревновательный период измерения проводят ежедневно. Во время учебно-тренировочного цикла — обычно в начале, середине и конце цикла. Экстренно проводят исследование в первый день смены климатической зоны и при возникновении подозрений на нарушение режима; ежедневно или через день — в период восстановления после серьезных травм конечности.

При формировании индивидуального коридора значений параметров состава тела, относительно которого в дальнейшем планируется оценка текущих изменений, используют данные достаточно длительного периода наблюдений в процессе тренировочной и соревновательной деятельности.

Дополнительный интерес для тренера могут представлять результаты исследований перед началом сезона, в конце сезона и вне сезона. Эти результаты показывают уровень приспособляемости спортсмена к тренировочному процессу.

Данные исследований, проводимых один-два раза в год при плановых медицинских обследованиях, следует интерпретировать исходя из периода текущего годового цикла и соотносить с фактическими тренировочными нагрузками.

Интерпретация данных биоимпедансного анализа состава тела тренерами и спортивными врачами предусматривает оценку по всей номенклатуре параметров, но приоритет, как правило, отдается трем параметрам, имеющим прямое отношение к задаче предстартового контроля: проценту жировой массы, доле скелетно-мышечной массы в тощей массе и фазовому углу как показателю метаболической активности. При анализе региональных параметров состава тела больше внимания обращают на характеристики наиболее загруженных конечностей.

В 2008–2009 годах разработаны специальные нормы для ряда спортивных дисциплин. Их основой послужили результаты биоимпедансных исследований групп численностью от 28 до 40 спортсменов, заслуженных мастеров спорта, по 16 мужским и 11 женским видам спорта. На рис. 6.1 на фоне центильных кривых показаны точки, соответствующие средним возрастам в группах и средним значениям параметров в группах.

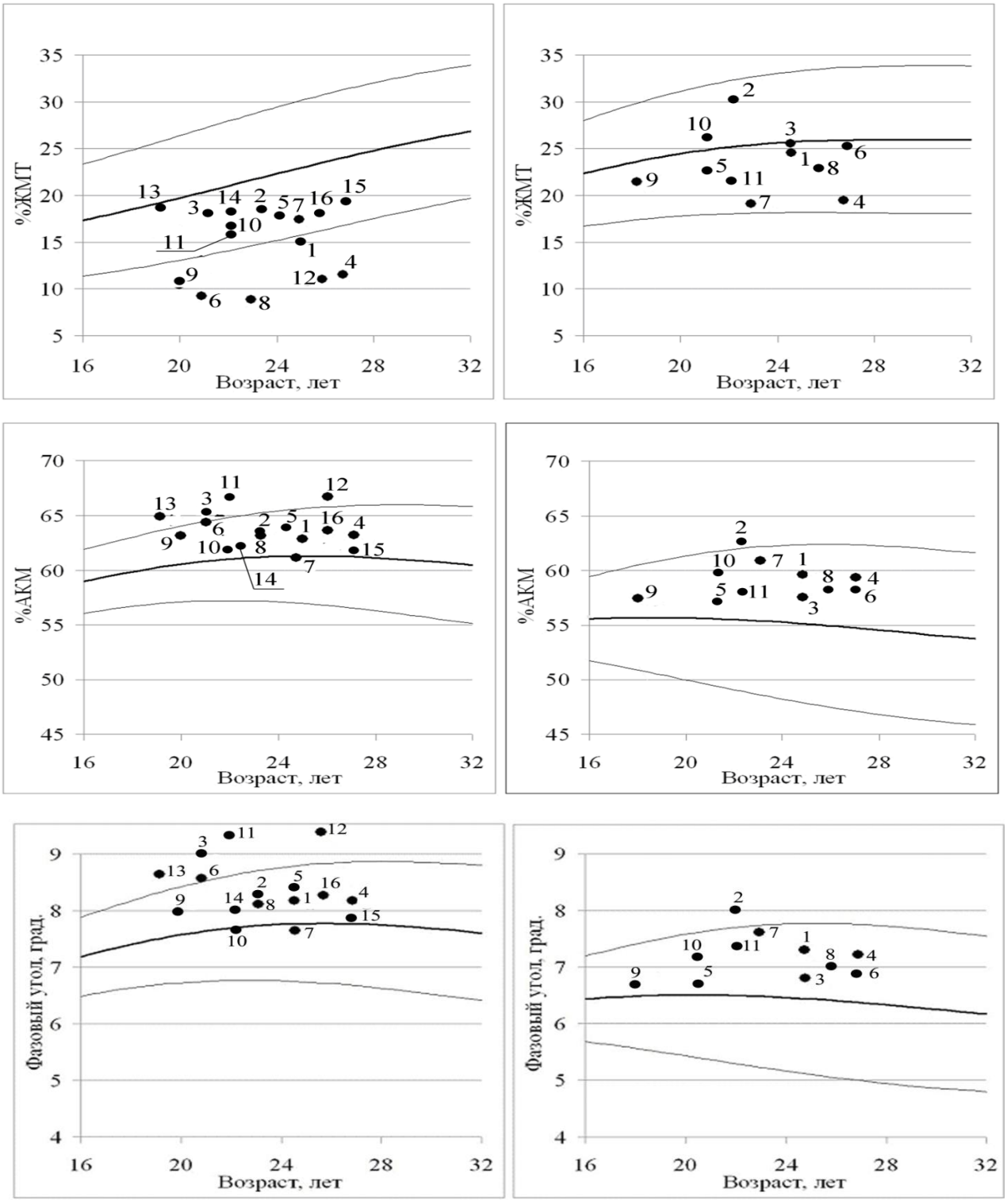


Рис. 6.1. Средние значения процента жировой массы, процента скелетно-мышечной массы в тощей массе, фазового угла у спортсменов высокой квалификации в различных видах спорта. Слева данные для мужчин (1 — академическая гребля, 2 — гребля на байдарке, 3 — бадминтон, 4 — биатлон, 5 — бокс, 6 — велосипедный спорт, 7 — волейбол, 8 — лыжное двоеборье, 9 — лыжи, 10 — плавание, 11 — триатлон, 12 — тройной прыжок, 13 —тяжелая атлетика, 14 — футбол, 15 — хоккей с мячом, 16 — прыжки с шестом), справа — для женщин (1 — академическая гребля, 2 — гребля на байдарке, 3 — баскетбол, 4 —биатлон, 5 — велосипедный спорт, 6 — волейбол, 7 — лыжи, 8 — плавание, 9 — синхронное плаванье, 10 — теннис, 11 — женский футбол)

Использование полученных данных дает приблизительный ориентир для спортсменов не самых высоких разрядов, так как:

— не все группы заслуженных мастеров спорта были обследованы в пик своей физической формы;

— не во всех видах спорта прошедшие обследование отечественные спортсмены показывали высшие достижения на соревнованиях мирового уровня;

— численность групп была недостаточна, распределение значений параметров в группах не всегда соответствовало нормальному закону.

По-видимому, работа по созданию норм-ориентиров для спортсменов должна быть продолжена с учетом указанных выше замечаний. Методические препятствия могут возникнуть лишь в спортивных дисциплинах с весовыми категориями, так как в абсолютных и высших категориях достижения мирового уровня демонстрируют спортсмены с большим разбросом относительных значений жировой массы (достаточно вспомнить отечественных тяжелоатлетов: относительно сухого Юрия Власова и тучного Леонида Жаботинского).

6.2. Динамические протоколы для отдельных видов спорта с ориентацией на результаты высококвалифицированных спортсменов и индивидуальные показатели

Рассмотренный выше подход с формированием спортивных норм может использоваться для работы и с другими контингентами, например со специфическими профессиональными или клиническими группами, имеющими приспособительные особенности значений компонент состава тела и метаболических коррелятов. В динамических протоколах с графическим отображением данных построение зоны нормальных значений бывает особенно востребовано.

На рис. 6.2 показан динамический протокол футболиста 25 лет с нормами для заслуженных мастеров спорта по футболу. Видно, что значения фазового угла на протяжении всего периода наблюдений соответствовали нормам заслуженных мастеров спорта, процент скелетно-мышечной массы был существенно ниже, а процент жировой массы — выше нормы. Низкими значениями %СММ и высокими %ЖМТ выделяется 5-е исследование, выполненное до начала сезона тренировок 2012 года. Заметно

N	Дата	Вес
1.	29.07.2011	92.5
2.	22.08.2011	96.0
3.	10.09.2011	95.5
4.	03.10.2011	97.0
5.	10.02.2012	96.3
6.	31.01.2013	96.3
7.	14.02.2013	96.2
8.	24.02.2013	96.0
9.	28.02.2013	97.1
10.	04.03.2013	96.4
11.	18.03.2013	96.9
12.	22.03.2013	97.4
13.	29.03.2013	95.3
14.	12.04.2013	96.6
15.	16.04.2013	97.0
16.	19.04.2013	97.8
17.	24.04.2013	95.0
18.	19.06.2013	95.5
19.	25.06.2013	96.0
20.	28.06.2013	97.5
21.	17.08.2013	98.5
22.	16.09.2013	96.0

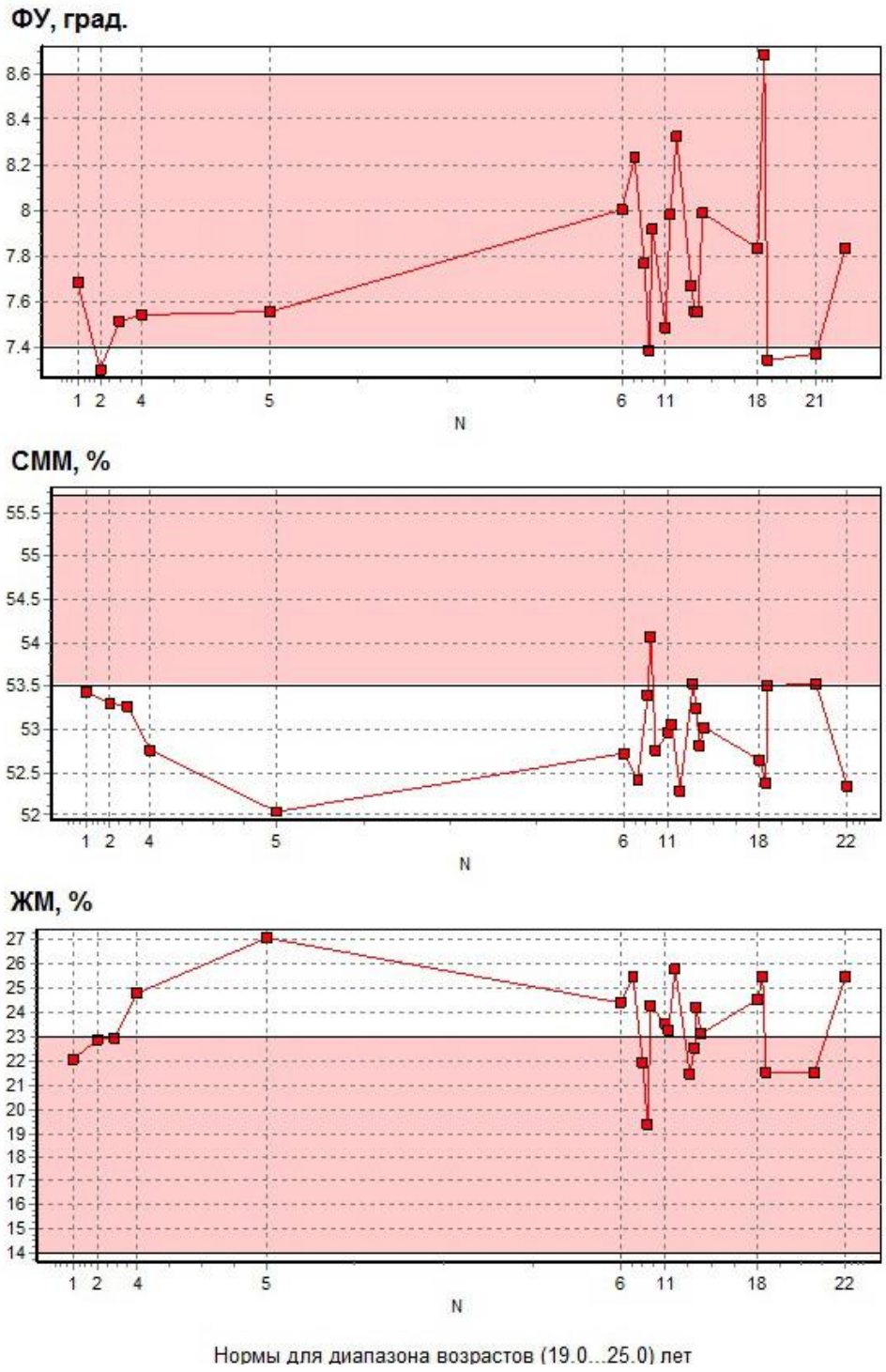


Рис. 6.2. Динамический протокол футболиста 25 лет на фоне норм заслуженных мастеров спорта по футболу

существенное увеличение значений фазового угла в сезоне 2013 года по отношению к сезону 2011 года, при сохранении значений показателей состава тела. Высокая вариативность значений ФУ отражает различия физической формы в моменты исследований, низкие значения соответствуют состояниям недостаточного восстановления после матчевых нагрузок.

Для построения индивидуальных норм спортсмена в окне «Спецнормы» имеется ряд инструментов, позволяющих:

— исключать из рассмотрения результаты исследований, признанные артефактными;

— строить индивидуальный коридор типичных для спортсмена значений ФУ, %СММ и %ЖМТ;

— сохранять до следующего обновления построенные коридоры индивидуальных норм.

На рис. 6.3 и 6.4 показана последовательность действий с динамическим протоколом для построения коридора индивидуальных норм самбиста 25 лет. Предшествующими исследованиями охвачено более двух лет, всего выполнено более 40 исследований. Протокол содержит графики трех параметров: фазового угла, процентной доли скелетно-мышечной массы в тощей массе и процентной доли жировой массы в массе тела.

Первый шаг обработки протокола — фильтрация артефактов. Из рассмотрения графика ФУ видно, что четыре точки — 18, 19, 20 и 28-е исследования — фиксировали значения фазового угла выше 10 градусов. На графике доли СММ 10-я точка демонстрирует значение свыше 60 %. Все перечисленные точки могут быть удалены вручную, снятием выделяющих значков на панели фильтрации. Дополнительно результаты исследования могут быть проверены: на выход за пределы нормальных значений концентрации NaCl во внеклеточной жидкости (по рассогласованию расчетных значений тощей массы и общей воды организма, см. п. 4.1.1), на превышение пороговых значений подэлектродных сопротивлений (470 Ом) и на соответствие заданному интервалу времени измерения (как правило, учитываются измерения, проведенные в утренние часы, например с 8 до 11). В данном примере таких нарушений не обнаружено. После фильтрации данных протокол приобрел вид, изображенный на рис. 6.4, и содержит данные 38 исследований.

Второй шаг предусматривает выбор типичных для данного спортсмена значений ФУ, %СММ и %ЖМТ и построение на протоколе коридоров индивидуальных норм по указанным параметрам. Желательно, чтобы в пределы коридора вошли 70–80 % оставшихся после фильтрации значений. На рис. 6.4 представлен один из возможных вариантов разметки динамического протокола. В данном варианте предлагается установить границы коридора типичных значений спортсмена следующими: по фазовому

N	Дата	Вес
1.	21.06.2010	71.5
2.	25.06.2010	71.2
3.	28.06.2010	72.0
4.	27.09.2010	72.0
5.	11.10.2010	72.0
6.	18.10.2010	72.3
7.	15.11.2010	74.0
8.	24.11.2010	69.0
9.	24.11.2010	69.1
10.	06.12.2010	74.0
11.	10.01.2011	73.0
12.	11.01.2011	72.5
13.	12.01.2011	73.0
14.	13.01.2011	73.2
15.	14.01.2011	73.9
16.	19.01.2011	73.5
17.	07.02.2011	73.7
18.	14.02.2011	72.0
19.	21.02.2011	74.0
20.	28.02.2011	74.5
21.	07.03.2011	72.0
22.	21.03.2011	72.0
23.	28.03.2011	73.0
24.	04.04.2011	72.3
25.	11.04.2011	71.5
26.	18.04.2011	73.3
27.	20.04.2011	72.0
28.	22.04.2011	72.7
29.	25.04.2011	72.8
30.	04.05.2011	71.4
31.	23.05.2011	71.4
32.	06.06.2011	71.1
33.	20.06.2011	71.4
34.	01.03.2012	71.9
35.	12.04.2012	72.0
36.	16.04.2012	72.0
37.	20.04.2012	72.8
38.	23.04.2012	72.4
39.	27.04.2012	72.0
40.	30.04.2012	73.5
41.	09.05.2012	73.0
42.	16.05.2012	69.5
43.	21.01.2013	73.5

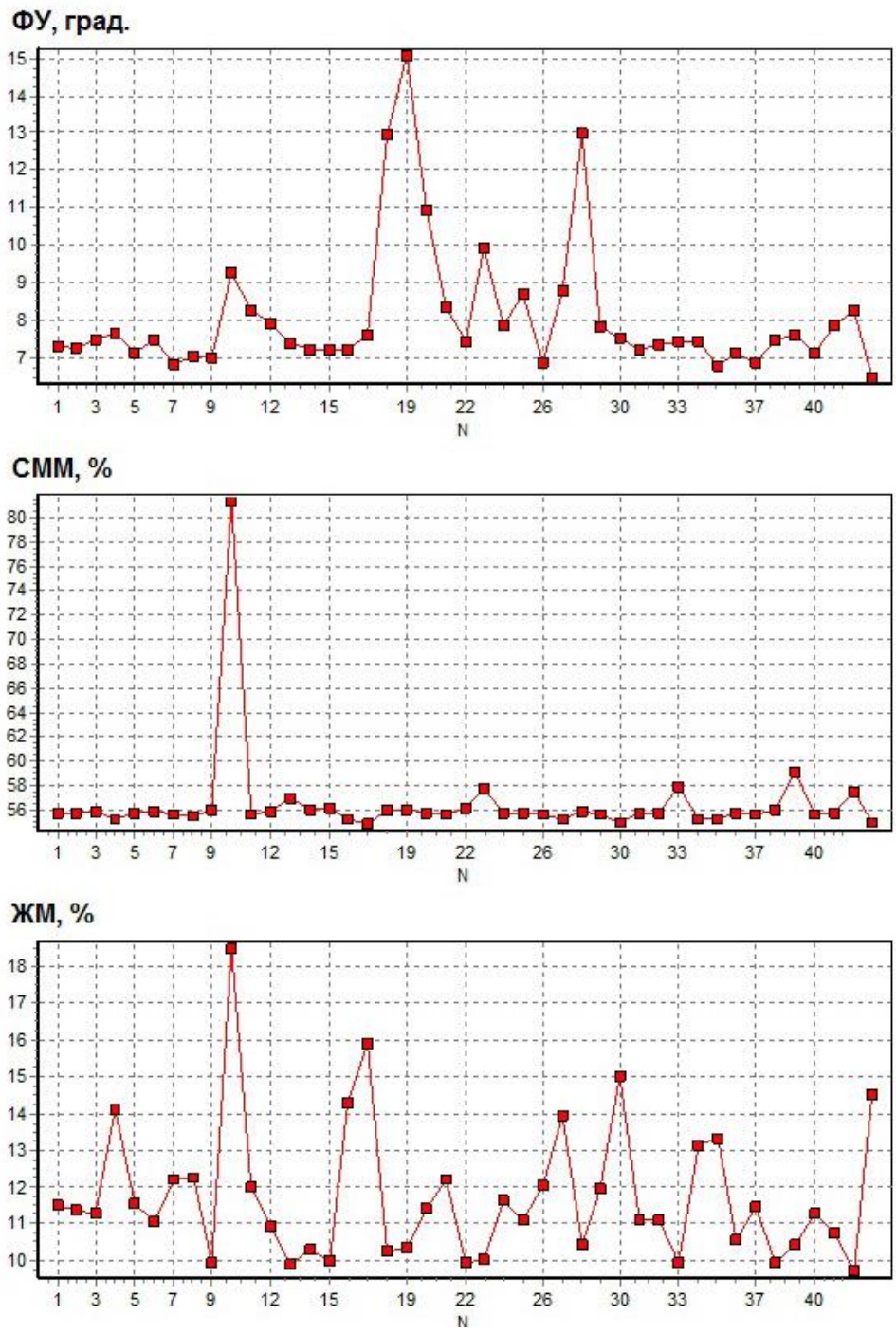


Рис. 6.3. Динамический протокол биоимпедансного обследования самбиста до фильтрации данных

углу — от 7 до 8 градусов, по %СММ — от 55 до 56 %, по %ЖМТ — от 10 до 12,5 %.

Использование подвергнутых обработке динамических протоколов может включать два аспекта: ретроспективный анализ и текущую оценку предстартовой готовности по результатам нового исследования.

Ретроспективный анализ физической формы спортсмена, результаты исследований которого приведены на рисунках 6.3–6.4, показывает сле-

N	Дата	Вес
1.	21.06.2010	71.5
2.	25.06.2010	71.2
3.	28.06.2010	72.0
4.	27.09.2010	72.0
5.	11.10.2010	72.0
6.	18.10.2010	72.3
7.	15.11.2010	74.0
8.	24.11.2010	69.0
9.	24.11.2010	69.1
10.	10.01.2011	73.0
11.	11.01.2011	72.5
12.	12.01.2011	73.0
13.	13.01.2011	73.2
14.	14.01.2011	73.9
15.	19.01.2011	73.5
16.	07.02.2011	73.7
17.	07.03.2011	72.0
18.	21.03.2011	72.0
19.	28.03.2011	73.0
20.	04.04.2011	72.3
21.	11.04.2011	71.5
22.	18.04.2011	73.3
23.	20.04.2011	72.0
24.	25.04.2011	72.8
25.	04.05.2011	71.4
26.	23.05.2011	71.4
27.	06.06.2011	71.1
28.	20.06.2011	71.4
29.	01.03.2012	71.9
30.	12.04.2012	72.0
31.	16.04.2012	72.0
32.	20.04.2012	72.8
33.	23.04.2012	72.4
34.	27.04.2012	72.0
35.	30.04.2012	73.5
36.	09.05.2012	73.0
37.	16.05.2012	69.5
38.	21.01.2013	73.5

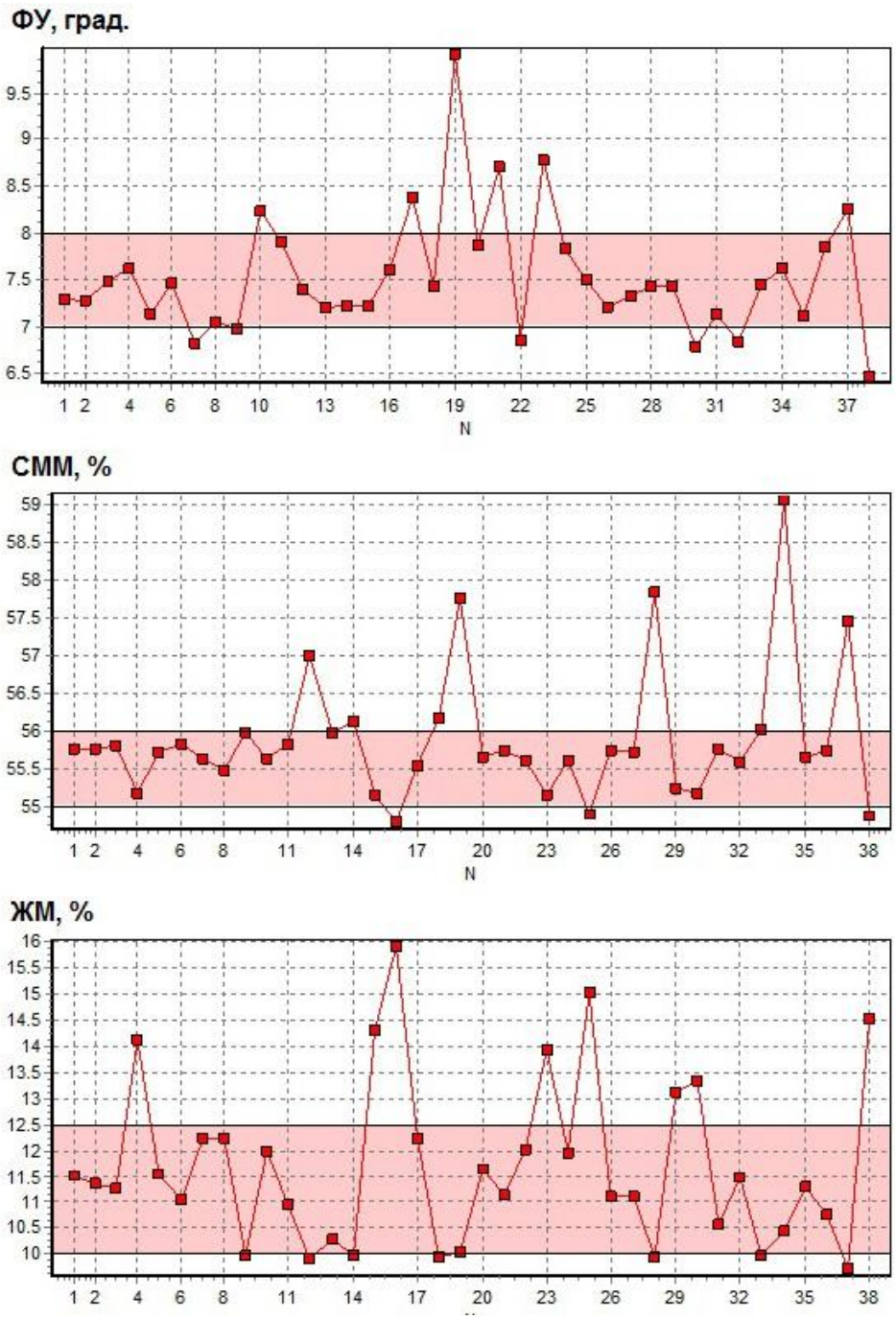


Рис. 6.4. Динамический протокол биоимпедансного обследования самбиста после фильтрации данных и построения коридора индивидуальных норм

дующее. Наихудшие показатели с точки зрения физической формы и тренированности можно наблюдать в последнем, 38-м исследовании. Все три показателя смещены в сторону значений, неблагоприятных для оценки физической формы: низкие значения ФУ и %СММ и высокие %ЖМТ. Объяснение этому можно найти в дате исследования — 21 января, в это время подобный спад физической формы наблюдается у спортсменов часто, в связи с отсутствием регулярных тренировок и «новогодним» режимом питания.

Примером, характерным для активной тренировочной и соревновательной деятельности, можно назвать результаты, полученные в марте и апреле 2011 года, — точки с 17-й по 24-ю. Высокая амплитуда колебаний параметров характерна для соревновательного периода, после соревнований процесс восстановления протекает несколько суток.

Методика оценки предстартовой готовности с использованием коридоров индивидуальных норм спортсмена заключается в сравнении результатов вновь полученного исследования с границами коридора типичных значений. Из данных, приведенных на рис. 6.4, наилучший прогноз готовности к соревнованиям следует сделать по результатам 19-й точки, где одновременно продемонстрированы максимальные значения ФУ и %СММ при минимальном значении %ЖМТ.

6.3. Групповые протоколы

Для удобства сравнительного анализа результатов исследования состава тела всей команды или отдельной группы спортсменов принято пользоваться групповыми протоколами. Групповые протоколы формируются, в частности, по трем основным для спорта параметрам: проценту жировой массы, доле скелетно-мышечной массы в тощей массе и значению фазового угла на фоне соответствующих нормальных значений, характерных для выбранного вида спорта. На приведенных фрагментах протоколов (рис. 6.5) высотой столбиков гистограммы показаны значения процента жировой массы и фазового угла группы из 14 спортсменов в начале первого и в конце второго тренировочного сбора, с разделяющим их временным интервалом 42 дня.

По данным этого протокола тренеру легко выделить лидеров и аутсайдеров на момент прохождения обследования. По результатам первого тестирования лидерами можно признать первого и пятого с правого края графика спортсменов. На втором тестировании группу лидеров образуют первый, четвертый, пятый и шестой спортсмены. Видно, что у второго с левого края графика спортсмена %ЖМТ снизился и вышел из интервала нормальных значений. У пятого спортсмена %ЖМТ повысился и тоже вышел из интервала нормальных значений.

На групповых протоколах тренер может следить за изменениями состава тела группы численностью до 30 спортсменов.

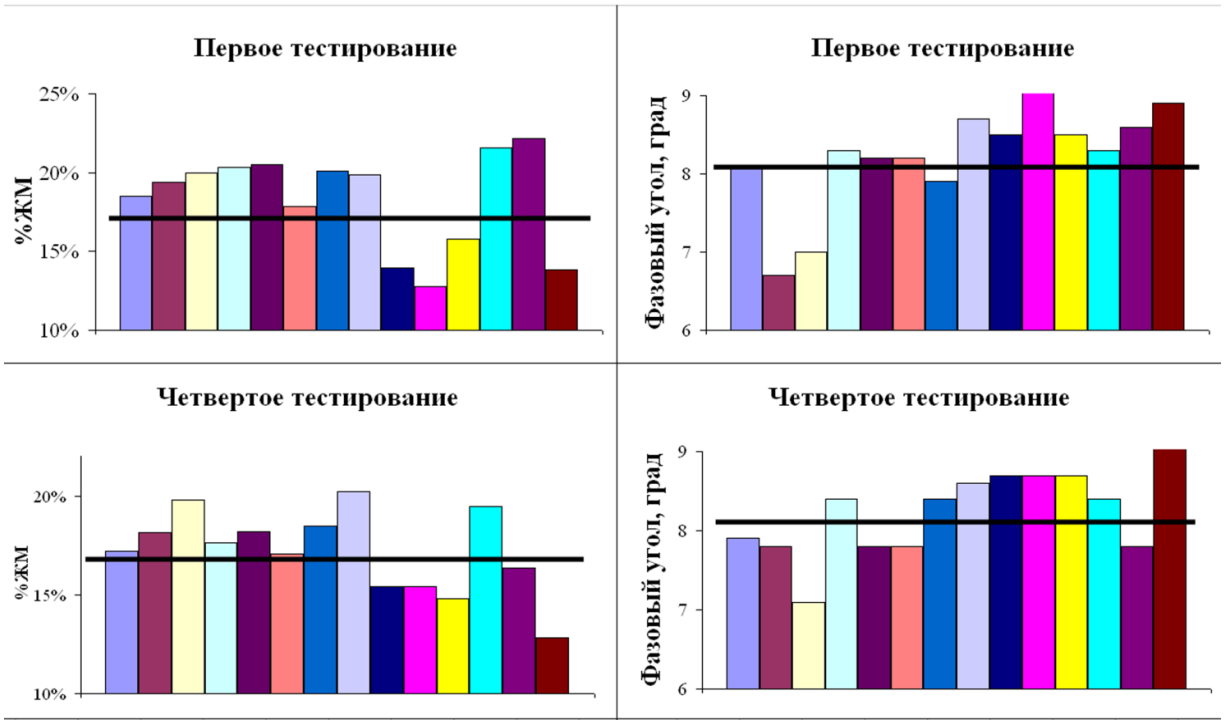


Рис. 6.5. Групповые протоколы. На фоне нормальных значений % ЖМ и фазового угла для футболистов (горизонтальные линии) показаны индивидуальные значения этих параметров у 14 футболистов одной команды

6.4. Примеры использования биоимпедансных исследований в спорте

Чем чаще и синхроннее с границами этапов тренировочной активности проводится обследование, тем детальнее определяются особенности сезонных и внутрисезонных изменений состава тела и состояния тренированности. Обобщение данных систематических биоимпедансных исследований могло бы стать основой для описания типовых схем эволюции параметров состава тела в многолетнем цикле подготовки спортсменов различных дисциплин.

1. Удобным инструментом анализа сезонной и внутрисезонной изменчивости могут служить графики изменений состава тела спортсменов. На рис. 6.6 показана динамика параметров активной клеточной массы (АКМ), жировой массы (ЖМТ) и массы тела (МТ) молодого футболиста, регулярно проходившего биоимпедансное обследование.

На рис. 6.6 по графику изменений АКМ отчетливо видны периоды изменения уровней тренированности: адаптация к спортивным нагрузкам, сохранение достигнутого уровня, достижение пика спортивной формы и,

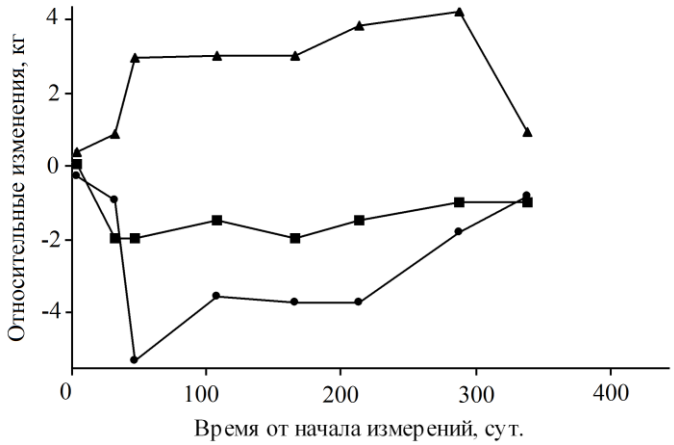


Рис. 6.6. Относительные изменения значений АКМ (■), МТ (▲) и ЖМТ (●) у футболиста С. в сезоне 2008 г.

наконец, межсезонное снижение тренировочных нагрузок. По графику изменения ЖМТ можно судить о энергетических затратах на каждом этапе: первый этап сопряжен с наибольшими потерями жировой массы, затем нагрузки становятся привычными и жировая масса стремится к оптимальным значениям. Видно, что изменения МТ невелики, и если ориентироваться только на вес спортсмена, то нельзя получить полной информации.

2. На рис. 6.7 показаны графики внутрисезонных изменений параметров состава тела одной из команд российской футбольной премьер-лиги во время первых двух учебно-тренировочных сборов 2009 года. На рисунке видно, что скорость снижения %ЖМТ была выше во время первого сбора, когда основное внимание уделялось общей физической подготовке. Отсутствие существенных изменений %СММ и %ЖМТ в период между сборами свидетельствует о достаточном уровне физических нагрузок. Выраженные изменения за время первого сбора претерпевали значения фазового угла: заметный рост и уменьшение разброса этого показателя во время первого сбора свидетельствуют о возможности его использования в качестве индикатора физической подготовленности.

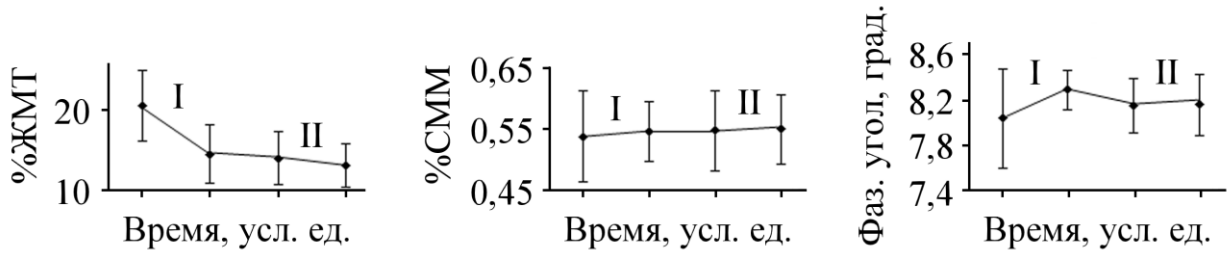


Рис. 6.7. Динамика изменений интегральных оценок %ЖМ, %СММ и фазового угла у футболистов во время первого (I) и второго (II) учебно-тренировочных сборов

В промежутке между первым и вторым сборами наблюдалось уменьшение величины фазового угла, что указывает на снижение функционального состояния спортсменов при отсутствии структурных изменений, так как значения %ЖМТ и %СММ в этот период практически не изменялись. Более умеренная динамика увеличения фазового угла и постоянство внутригруппового разброса значений показателя во время второго учебно-тренировочного сбора характеризуют преимущественно игровую направленность второго сбора и преобладание специальных (игровых) видов подготовки над общефизической подготовкой.

3. Иллюстрацией связи между спортивными результатами и значениями фазового угла могут служить синхронизированные графики ежедневной загруженности соревновательными выступлениями, достигнутых результатов — времени преодоления дистанции 200 метров вольным стилем и зафиксированных значений фазового угла в каждый из соревновательных дней известного пловца Н. (рис. 6.8). Слева показаны данные, относящиеся к выступлению на чемпионате России в мае 2010 года, справа — на чемпионате Европы в августе 2010 года. Лучший результат, показанный в мае, — 1 минута 48,58 секунды. Лучший результат, продемонстрированный в августе, — 1 минута 45,93 секунды. Личное достижение было улучшено почти на 3 секунды на фоне повышения средних значений фазового угла с 7,8° (майские измерения) до 8,2° (августовские измерения).

4. На рис. 6.9 показан график изменений фазового угла у триатлониста высокой квалификации во время учебно-тренировочных сборов 2010 года, сосредоточенных на общефизической подготовке. Измерения проводились ежесуточно утром до завтрака и перед второй тренировкой в послеобеденное время. Наблюдается положительный тренд средних значений показателя. Зубчатая форма графика обусловлена влиянием на значения фазового угла процессов децентрализации кровотока и кровенаполнения после первой тренировки (максимальные значения наблюдались в утренние часы), а нарушения периодичности — длительными периодами восстановления после нагрузок.

На рис. 6.10 приводятся сглаженные кривые динамики фазового угла двух спортсменов в 4-недельном цикле, демонстрирующие различную тактику тренировочного процесса. На верхнем графике наблюдается быстрое достижение высокой физической формы и постоянное удержание результатов в течение последующих четырех недель. На нижнем графике

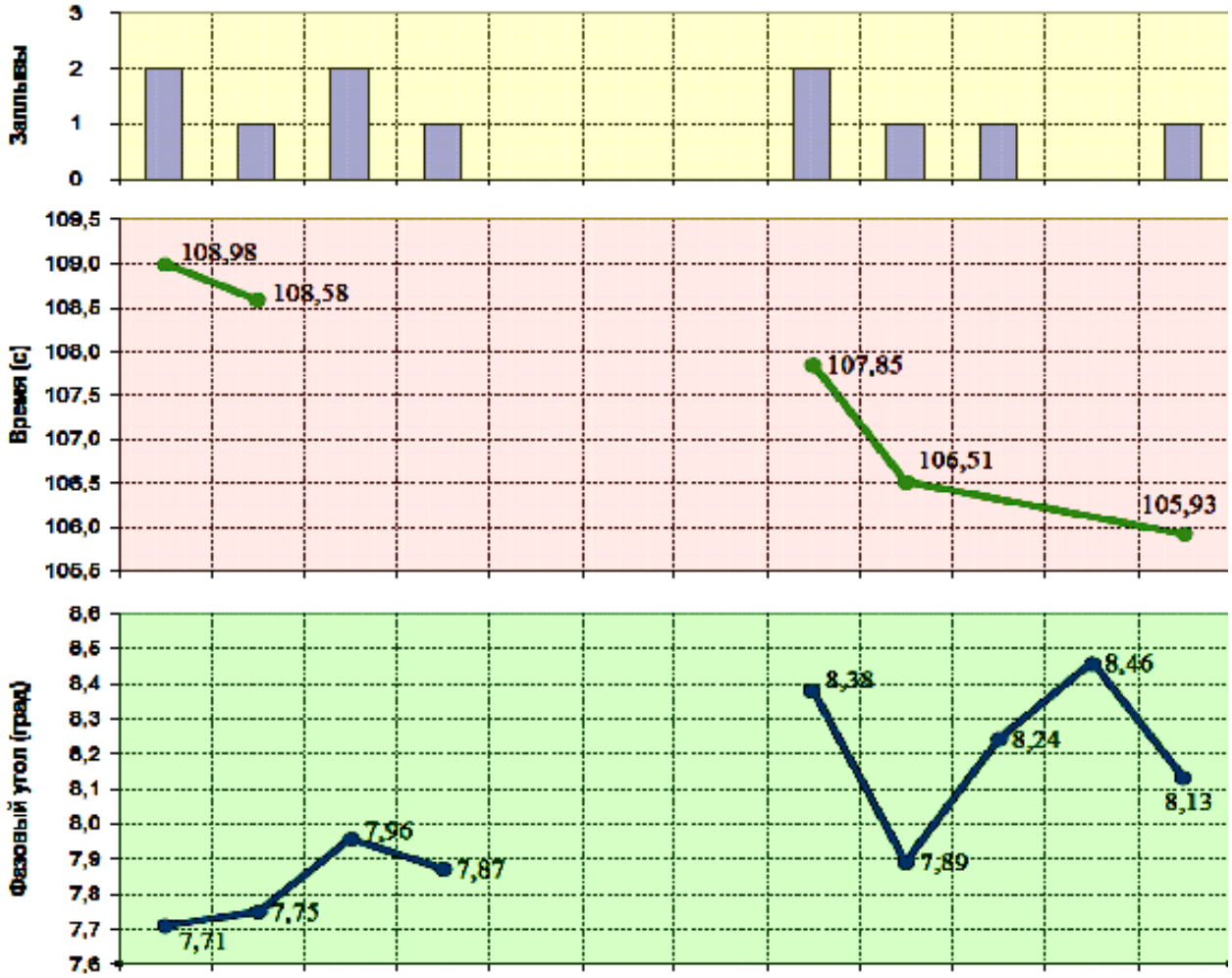


Рис. 6.8. Графики количества заплывов за один день соревнований (вверху), времени преодоления дистанции 200 м вольным стилем (в середине) и значений фазового угла утром в дни соревнований (внизу)

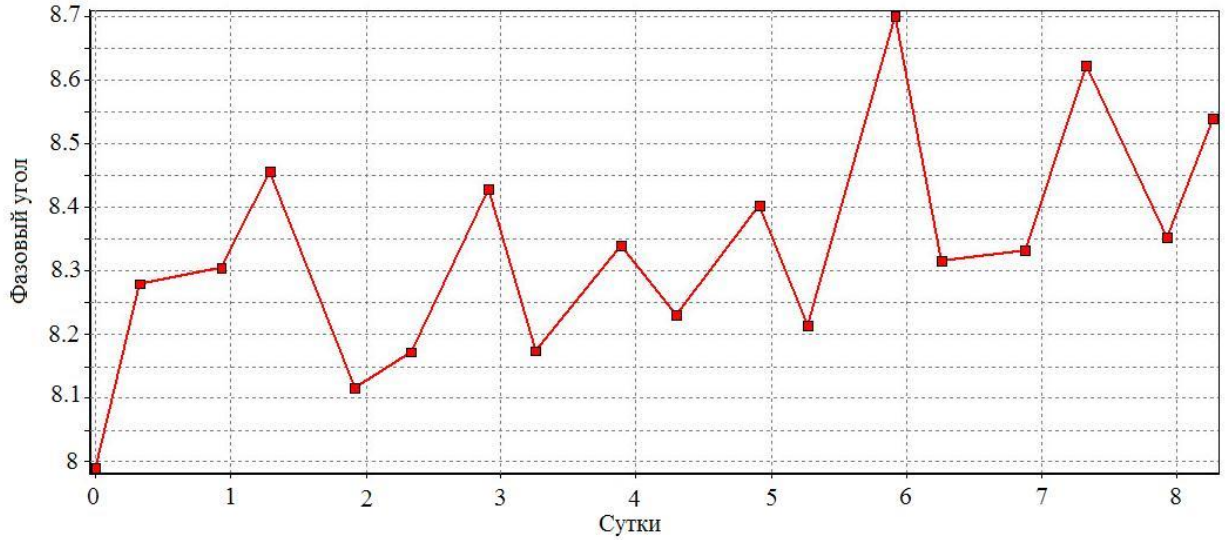


Рис. 6.9. График изменений фазового угла у высококвалифицированного триатлониста на первой неделе первых учебно-тренировочных сборов в сезоне 2011 г.

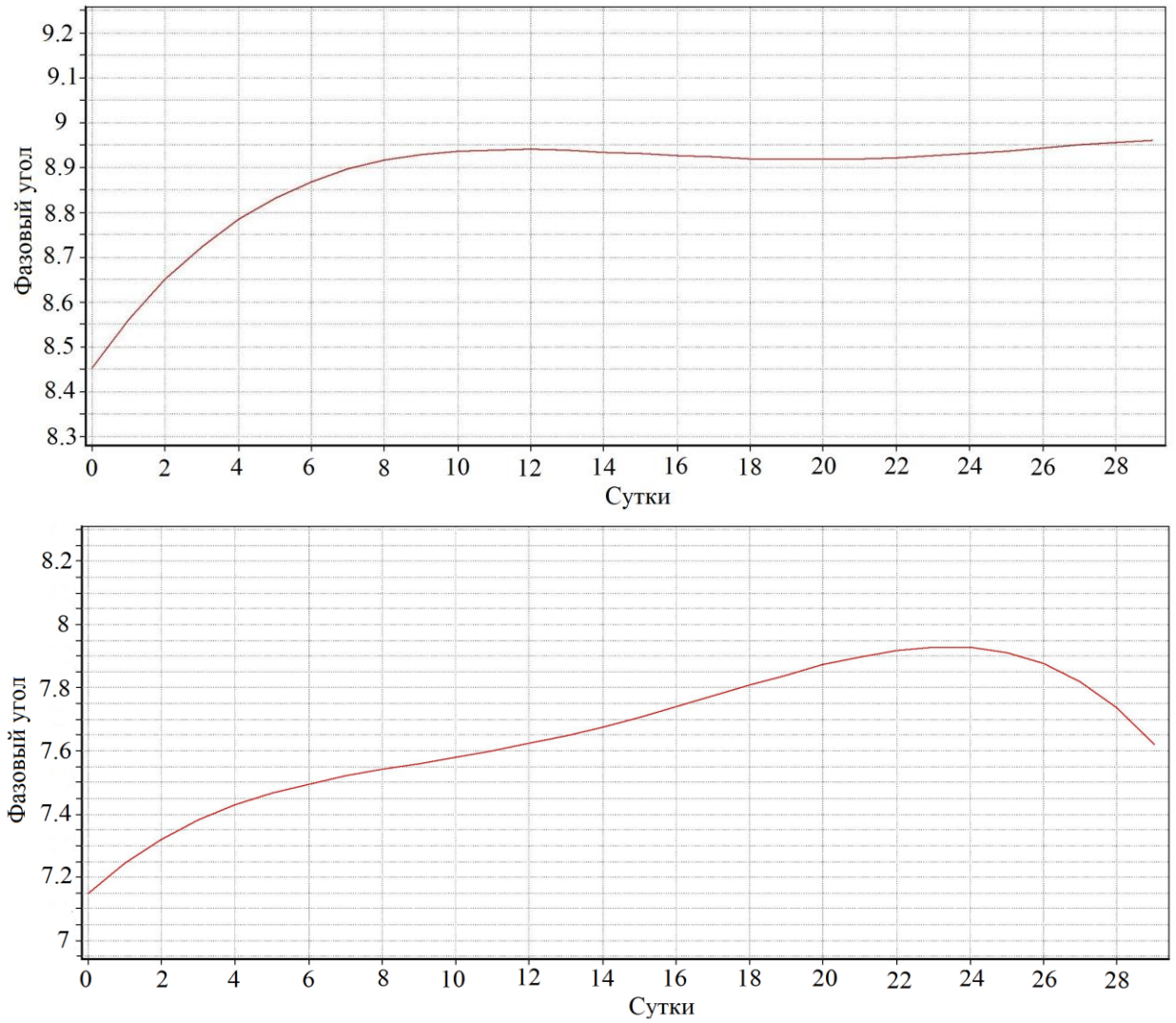


Рис. 6.10. Графики изменений фазового угла двух триатлонистов во время 4-недельных учебно-тренировочных сборов

мы видим тактику медленного врабатывания с подведением к пику формы в начале 4-й недели тренировочного процесса. Долго удерживать пиковый уровень не удается, интенсивные нагрузки в состоянии перетренированности сопровождаются снижением значений фазового угла.

5. Обследования, проводимые в рамках одного учебно-тренировочного сбора, дают информацию об эффективности общей физической подготовки спортсмена. На рис. 6.11 показаны типичные варианты изменений %ЖМТ и %СММ в ситуациях оптимального выбора тактики подготовки (рис. 6.11, *а*), сниженной интенсивности общефизической подготовки в середине и конце учебно-тренировочного сбора (рис. 6.11, *б*) и перетренированности (рис. 6.11, *в*). Эта методика была известна и успешно использовалась в 70–80-е годы, когда значения %ЖМТ и %СММ получались путем антропометрических расчетов.

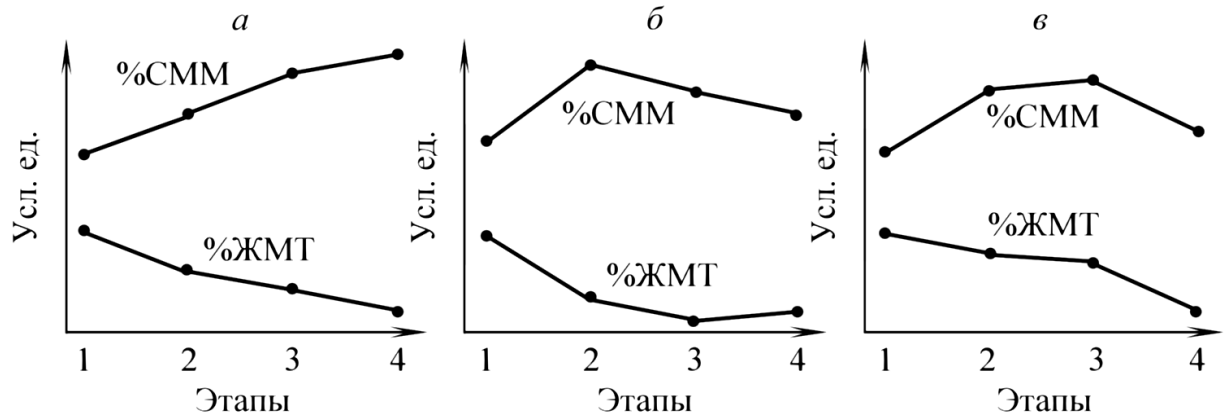


Рис. 6.11. Типичные варианты динамики %СММ и %ЖМТ в рамках учебно-тренировочного сбора: *а* — оптимальная динамика, *б* — недостаточное внимание общей физической подготовке, *в* — перетренированность [3]

Лекция 7.
ПРОТОКОЛ СКРИНИНГОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ТЕЛА ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

Проведение и анализ скрининговых исследований больших групп испытуемых или пациентов подразумевает оперативную статистическую обработку полученных данных. Оптимальным решением в этом случае становится обработка данных средствами той программы, в которой они были получены. Наиболее востребованной формой статистической обработки результатов оценки состава тела является анализ распространенности выхода за пределы интервала нормальных значений по группе параметров, которые могут быть связаны с целью проведения скрининговых исследований.

Скрининговые протоколы позволяют по завершении обследования группы лиц оценить распространенность в этой группе тех или иных отклонений от нормы для пяти произвольно выбранных параметров состава тела.

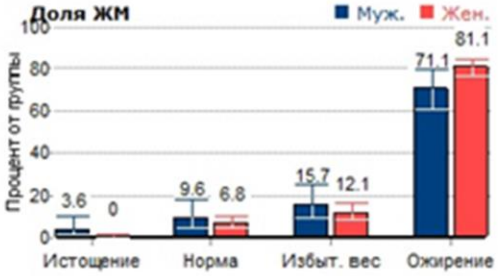
Первая страница скринингового протокола представлена на рис. 7.1. Левая часть рисунка содержит пять столбчатых диаграмм. Диаграммы показывают распределение численности группы обследованных по подгруппам в соответствии с используемой интервальной классификацией значений %ЖМТ, СММ, ФУ, ВКЖ и ИТБ.

Столбцы данных на диаграммах снабжены оценкой доверительных интервалов при 95%-м уровне доверительной вероятности. Правая часть рисунка содержит краткую интерпретацию параметров биоимпедансного анализа (БИА). Приведенные на рис. 7.1 результаты соответствуют данным первичного обследования группы пациентов клиники коррекции фигуры, поэтому значительная часть обследованных (71,1 % мужчин и 81,1 % женщин) имела диагноз «ожирение». Характерными особенностями таких пациентов являются повышенные или высокие значения СММ и ИТБ, нормальные значения ФУ и часто наблюдаемая задержка внеклеточной жидкости.

Большинство параметров, исследуемых анализаторами состава тела, имеют три градации: ниже нормы, норма и выше нормы. Четыре градации имеют лишь ИМТ, %ЖМТ (истощение, норма, избыточный вес, ожирение) и ФУ (катаболические нарушения, гиподинамия, норма, выше нормы).

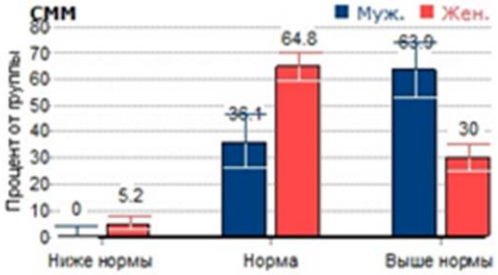
НТЦ "Медасс"

Групповой протокол: соответствие нормативам состава тела



Процентная доля жира в массе тела

Доля жировой массы позволяет судить о выраженности процессов жироотложения. Низкие значения показателя указывают на липидное истощение.
Одновременное увеличение доли жировой массы и отношения обхватов талии и бёдер является прогностическим признаком метаболического синдрома, что подразумевает высокую вероятность развития артериальной гипертонии, сахарного диабета второго типа, желчекаменной болезни и других заболеваний.

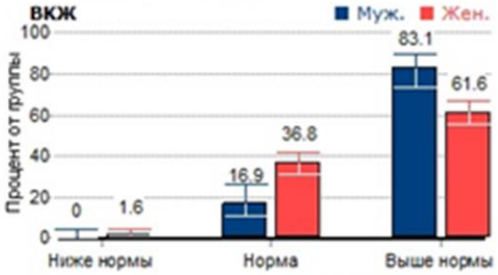


Скелетно-мышечная масса

Скелетно-мышечная масса характеризует состояние физического развития. Высокие значения соответствуют хорошему развитию скелетной мускулатуры, а низкие - дефициту мышечной массы и белковому истощению.

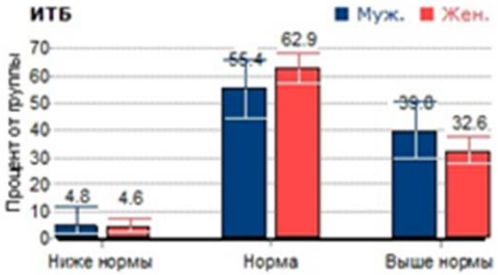
Фазовый угол

Значение фазового угла отражает состояние клеток организма, общую работоспособность и интенсивность обмена веществ. Низкие значения указывают на резкое снижение работоспособности и могут быть следствием хронических заболеваний или чрезмерной физической нагрузки накануне исследования. Высокие значения свидетельствуют о хорошей физической форме обследуемого.



Внеклеточная вода

Повышенное содержание внеклеточной воды указывает на задержку жидкости в организме. Задержка жидкости может быть связана с заболеваниями почек, кардиогенным отёком, локальным отёком конечностей, в том числе вследствие травмы.



Отношение обхватов талии и бёдер

Отношение обхватов талии и бёдер используется для определения типа жироотложения. При высоких значениях диагностируют абдоминальное ожирение, часто ассоциированное с метаболическими и гормональными нарушениями.

25.08.2015 20:04:59 **Врач:** _____

Рис. 7.1. Первая страница скринингового протокола с результатами обследования пациентов клиники коррекции фигуры

Вторая страница протокола (рис. 7.2) содержит список обследованных с индивидуальной классификацией оценок параметров БИА, представленных на первой странице протокола. Анализ этой страницы позволяет оценить вклад каждого из участников обследования в общую статистику.

N	ФИО пациента	Возраст, пол	Доля ЖМ				Доля СММ			ФУ50			АКМ			ВКЖ		
			Истощение	Норма	Избыт. вес	Ожирение	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Низкий	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Ниже нормы	Норма	Выше нормы
1	Иванов И	56, М		+					+			+				+			+
2	Владимиров В.	23, М		+					+			+			+			+	
3	Сидорова С	20, Ж			+				+			+			+			+	
4	Петрова П	45, Ж		+					+			+			+			+	
5	Кириллова К	54, Ж				+			+			+				+			+
6	Григорьева Г	23, Ж			+				+			+			+			+	
7	Борисова Б	52, Ж			+				+			+			+			+	
8	Александрова А	25, Ж			+			+			+			+				+	

Рис. 7.2. Вторая страница скринингового протокола. Списочный протокол с градациями норм (Ф.И.О. изменены)

Третья страница протокола (рис. 7.3) содержит диаграммы рассеяния значений признаков на фоне центильных кривых для российской популяции [3]. Такой способ представления данных удобен для наглядного сравнения особенностей изучаемой группы с общей популяцией и, кроме того, дает возможность оценить влияние возраста на индивидуальные различия.

В скрининговом протоколе реализованы функции статистической обработки данных. Пример показан на рис. 7.4, где на фоне центильных кривых для мужчин отмечены медианные значения и границы доверительных интервалов фазового угла, характерные для спортсменов команды по регби-7. Анализ данных на рис. 7.4 позволяет выделить две группы спортсменов с высоким уровнем тренированности: значения фазового угла выше 90-го центиля имеют спортсмены 17–22 лет и 32–36 лет.

По желанию пользователя страницы протокола могут быть сохранены или распечатаны в высоком разрешении.

Наряду с возможностью произвольного выбора пяти параметров БИА, скрининговый протокол позволяет выбрать четыре фиксированных набора

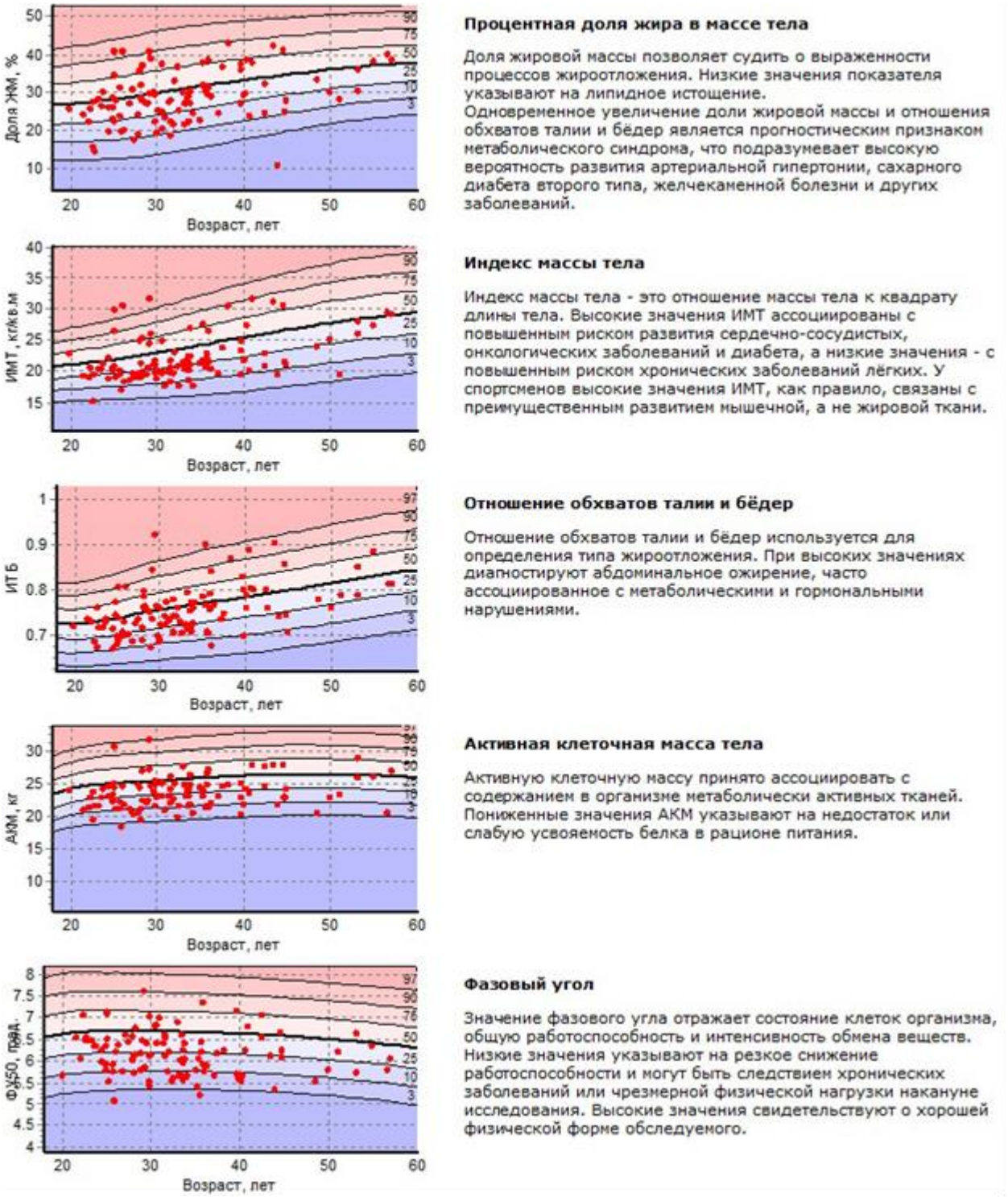


Рис. 7.3. Третья страница скринингового протокола. Центильный протокол (высокооплачиваемые офисные служащие, женщины)

признаков. В зависимости от задачи исследования предлагаются сочетания параметров для следующих алгоритмов исследования (табл. 7.1): «Спортивная форма», «Нутритивный статус», «Физическое развитие», «Метаболический риск».

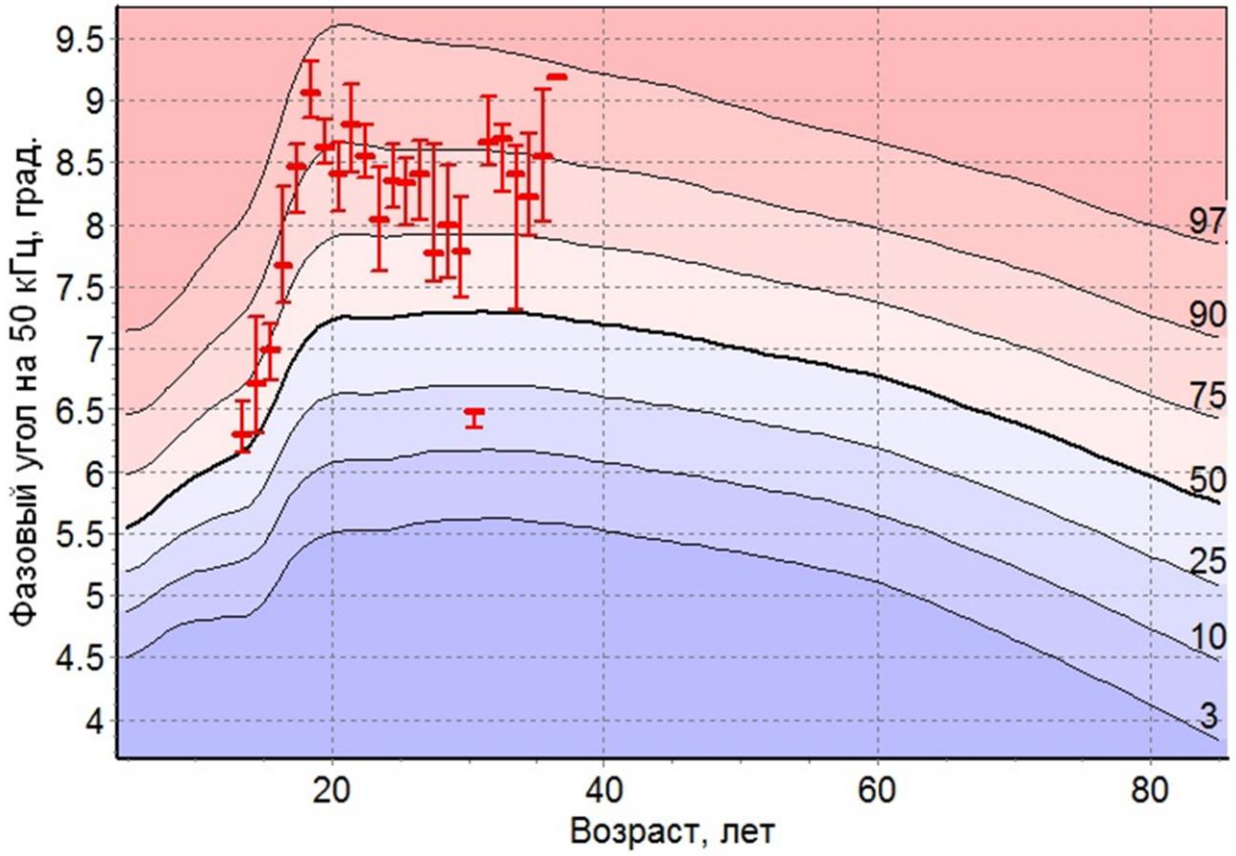


Рис. 7.4. Фрагмент третьей страницы скринингового протокола с демонстрацией медианных значений и разброса значений фазового угла (данные команды по регби-7)

Таблица 7.1 Сценарии скрининговых оценок параметров БИА

Алгоритм исследования	**Параметр**							
	%ЖМТ	СММ	%СММ	ФУ	АКМ	ИТБ	ИМТ	ВКЖ
«Спортивная форма»	+		+	+	+			+
«Нутритивный статус»	+			+	+		+	+
«Физическое развитие»	+	+	+	+	+			
«Метаболический риск»	+			+		+	+	+

На рис. 7. 5 приведены данные биоимпедансного анализа, характеризующие оценку риска развития метаболического синдрома для двух групп: спортсменов-регбистов и высокооплачиваемых офисных служащих мужского пола одной из московских организаций.

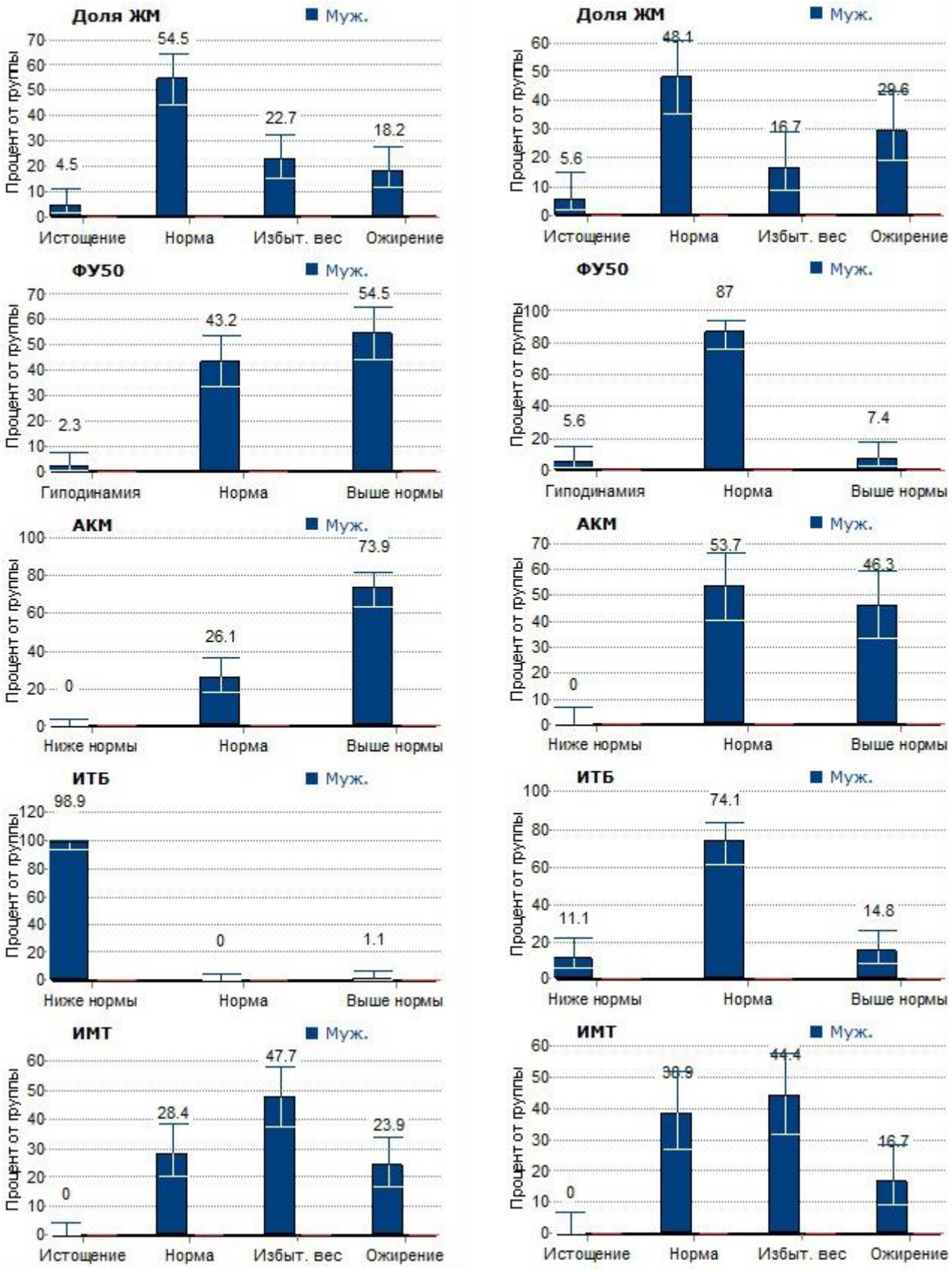


Рис. 7.5. Сравнение первых страниц скринингового протокола в сочетании параметров «Метаболический риск» для групп спортсменов-регбистов (слева) и офисных служащих (справа)

В градациях индекса массы тела в обеих группах преобладали лица с избыточным весом. Ожирение по ИМТ чаще встречалось у спортсменов (23,9 %), чем среди офисных служащих (16,7 %). В градациях доли жировой массы в обеих группах доминировали нормальные значения. При этом доля спортсменов с ожирением (18,2 %) была меньше, чем доля офисных служащих с ожирением (29,6 %). Полученное несоответствие распределений в градациях ИМТ и %ЖМТ становится понятным, если учесть, что у регбистов высокие значения ИМТ связаны с развитием скелетно-мышечной, а не жировой ткани. Рис. 7.6 подтверждает это наблюдение: доля спортсменов с повышенными значениями СММ составила 76,4 %, а среди офисных служащих преобладали нормальные значения СММ (83,3 %).

Рис. 7.6. Диаграммы распределения значений СММ в группах спортсменов-регбистов (слева) и офисных служащих (справа)

Высокая распространенность повышенных значений АКМ и ФУ у спортсменов-регбистов (см. рис. 7.5) также обусловлена развитием скелетно-мышечной массы и более высоким уровнем метаболизма, что ожидаемо, учитывая систематические высокие физические нагрузки спортсменов.

Значения ИТБ принято связывать с развитием абдоминального и висцерального жира. Диаграммы ИТБ на рис. 7.5 демонстрируют, что среди офисных работников преобладали нормальные значения (74,1 %), а в группе спортсменов — пониженные значения ИТБ (98,9 %).

Один из способов индивидуальной оценки риска развития метаболического синдрома заключается в следующем: высокому риску соответствует сочетание повышенного значения ИТБ и значения %ЖМТ в градации «ожирение», повышенному риску — соблюдение в точности одного из указанных условий, низкому риску — несоблюдение обоих условий

одновременно. Исходя из этого, в группе регбистов повышенный и высокий уровень метаболического риска можно ожидать максимум у 18 % и 1 % обследованных соответственно, а у офисных служащих — у 29,5 % и 14,8 % обследованных.

Использование протокола «Скрининг» позволяет оперативно и с опорой лишь на среднее звено медицинского персонала:

— получать обзорную информацию по клиническим и профессиональным группам непосредственно в день обследования, как в условиях стационара, так и на выездных мероприятиях;

— проводить сравнительные исследования для оценки эффективности лечения (в том числе санаторно-курортного), реабилитации, учебно-тренировочных циклов в спортивных командах и спортивных школах. Для этого исследования проводят в первый и последний дни анализируемого периода и сравнивают скрининговые протоколы;

— проводить обследования групп, объединенных по этническим и региональным признакам, профессиональных групп, популяций, проживающих в условиях различной экологической обстановки.

Лекция 8.
ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИСЕГМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Выше мы рассмотрели возможности технологии интегральной оценки состава тела (см. п. 2.4). Полисегментные методики биоимпедансного анализа дают более детализированное представление о составе тела, дополняя интегральные оценки региональными. В этой лекции мы рассмотрим возможности полисегментной методики с разбиением организма на пять регионов, согласно схеме 6 на рис. 2.7.

Рассмотренная в п. 3.6 математическая модель электрической проводимости человеческого тела была использована и для расчетов, показывающих, где действительно проходят границы разделения регионов — ног, рук и туловища — при полисегментных исследованиях. Изображения зон, на которые разделяется тело человека при исследовании по схеме 6, показаны на рис. 8.1. Голова, шея с верхним участком торса, кисти и стопы не входят в зону реальных полисегментных измерений по этой схеме.

Рис. 8.1. Результаты математического моделирования пространственной локализации областей чувствительности биоимпедансного метода при использовании полисегментного метода. Слева показан внешний вид зоны 95%-й чувствительности конечностей, справа — туловища

На определенных этапах жизни, под влиянием наследственных и возрастных факторов, питания и специфических физических нагрузок, развитие жировой и мышечной ткани в туловище и конечностях может отклоняться от пропорционального. Очевидными примерами этого могут служить возрастные особенности жироотложения по андроидному/гиноидному типу или непропорциональное развитие скелетной мускулатуры у атлетов. Формирование таких особенностей длительно, занимает месяцы и годы.

Перераспределение между регионами организма жидких сред (крови в различных бассейнах сосудистого русла, интерстициальной жидкости) происходит намного быстрее. В этом случае значимые изменения могут наблюдаться в течение минут и часов. Межрегиональное перераспределение жидких сред можно объяснить в рамках нормальной физиологии, например: изменение пространственного положения тела относительно вектора гравитации, активация пищеварительного процесса после еды, физические нагрузки, реакции на изменение температуры окружающей среды. Широко известны и многочисленные патофизиологические факторы перераспределения жидких сред: локальные отеки вследствие травм, заболеваний сосудистой системы, аллергические реакции, отеки легких и мозга. Перераспределения могут быть вызваны лечебными мероприятиями: массажем, физиотерапевтическими процедурами, хирургическим вмешательством, побочными эффектами применения лекарственных средств. Отдельного внимания заслуживают результаты исследований межрегионального перераспределения жидкости после хирургических вмешательств на открытом сердце. В работах японских детских кардиохирургов описано, что происходящее после операции перераспределение жидкости в ноги, снижающее сопротивление ног на 15 и более процентов, повышает вероятность летального исхода до 80–85 %, если не будут приняты срочные меры.

Полисегментные биоимпедансные исследования позволяют получать два вида количественных оценок содержания тканей и жидких сред в исследуемых регионах:

— одномоментные, фиксирующие показатели состава тела регионов, характерные для определенного момента медленно меняющегося процесса, например возрастных изменений;

— динамические, фиксирующие изменения показателей состава тела в процессах, сопоставимых по длительности с возможным временем их мониторного наблюдения.

В отечественном биоимпедансном анализаторе «АВС-01 МЕДАСС» полисегментная методика реализуется программой АВС01-0454.

Процедура полисегментных исследований отличается от описанной в третьей лекции процедуры исследований лишь тем, что электроды накладывают на все четыре конечности, а вводимые антропометрические параметры дополняются длиной окружности правого запястья и значением гематокрита. Кабель пациента для полисегментных исследований включает четыре провода, обычно помеченные цветными накладками: красного цвета — для правой руки, желтого — для левой руки, синего — для правой ноги, зеленого — для левой ноги. Маркировка зажимов для фиксации кабеля к электродам: черные — токовые, одноцветные с метками на проводах кабеля пациента — измерительные. Полисегментная программа, в дополнение к описанным в лекции 4 протоколам, формирует интерактивное окно визуализации региональных и интегральных параметров «Регионы» и протокол «Табличный», с полным набором интегральных и региональных параметров в выбранный момент времени.

8.1. Окно визуализации «Регионы»

Полисегментная программа позволяет в мониторном режиме исследовать состав как всего тела пациента, так и отдельно каждого из пяти регионов. Длительность одного цикла мониторирования составляет 1,85 секунды. Максимальная длительность мониторирования — 40 минут. В окне визуализации «Регионы» (рис. 8.2) содержатся три инструмента исследования: автоматическая таблица, окно для построения графика выбранного параметра и фронтальная проекция контура тела человека с границами регионов, цветовой и цифровой индикацией выбранных на нем региональных параметров.

В верхней части автоматической таблицы содержатся региональные параметры, в нижней части — интегральные. В зоне отображения региональных параметров дополнительно рассчитываются значения асимметрии безжировой и жировой массы для рук и ног. Как правило, в отсутствие травматических повреждений конечностей, значения асимметрии ног значительно ниже. Номенклатура интегральных параметров дополне-

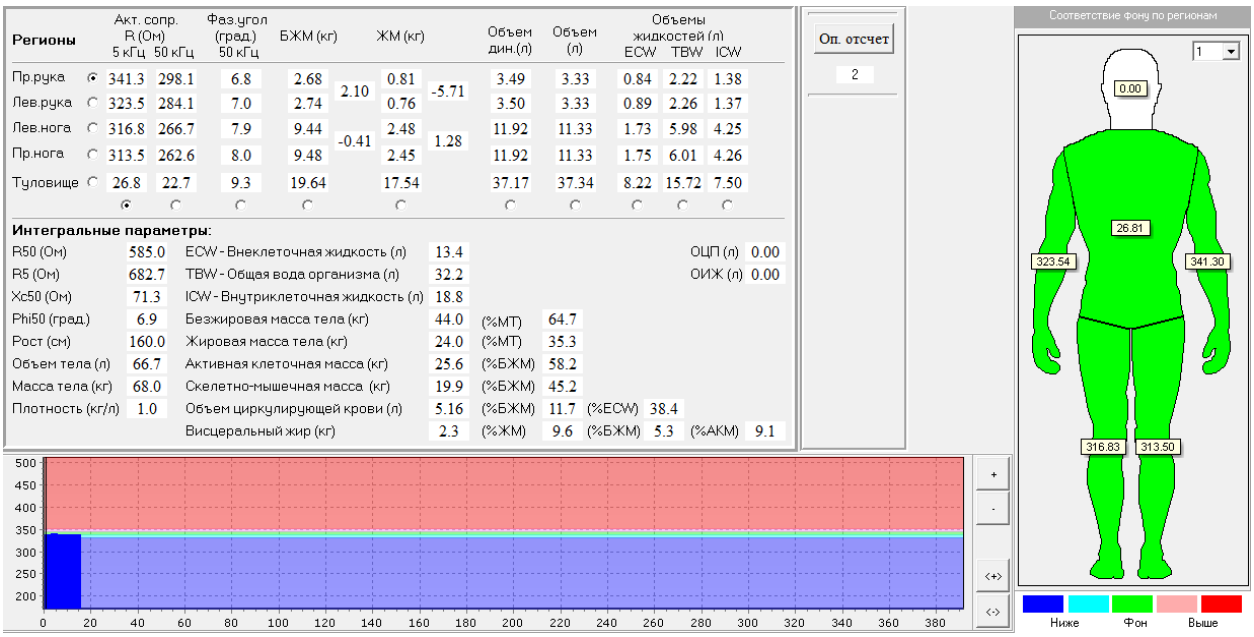


Рис. 8.2. Вид окна визуализации «Регионы»

на оценками висцерального жира, объема циркулирующей крови, а если в исходные данные введены значения гематокрита, то и оценками объемов интерстициальной жидкости и циркулирующей плазмы.

В графическом окне горизонтальная ось градуирована в секундах, а вертикальная может показывать значения одного из региональных параметров. Выбор этого параметра осуществляется установкой двух точек на периметре автоматической таблицы: в вертикальном ряду мест для установки точек помечается интересующий регион, в горизонтальном ряду — параметр. Справа от графического окна расположены инструменты масштабирования графика. Кнопки «+» и «–» изменяют масштаб графика по вертикали, расположенные под ними кнопки управляют масштабом по горизонтали. График строится из столбиков синего цвета, начинающихся от горизонтальной оси. На изображении исследуемых регионов тела человека в правой части окна демонстрируются численные значения выбранного параметра, а сами регионы перекрашиваются в зависимости от направленности изменений параметра относительно опорного (фонового) отсчета. За фоновое значение принимается значение параметра за второй отсчет. При работе в режиме просмотра фоновое значение может устанавливаться выбором опорного отсчета, посредством переноса маркера на соответствующую часть графика и клика мышью на кнопку «Опорный отсчет». Цветовая заливка каждого региона определяется изменением значения выбранного параметра относительно фонового уровня. Теплые тона соответствуют положительным значениям изменений, холодные — отрицатель-

ным. Значения порогов изменения цвета может выбираться при помощи меню в правом верхнем углу изображения.

8.2. Протокол «Табличный»

Табличный протокол (рис. 8.3) демонстрирует в расширенном виде значения параметров, содержащиеся в автоматической таблице окна «Регионы» и приходящиеся на момент времени, помеченный как опорный или выбранный вручную отсчет. Все остальные протоколы (первичного обследования, фазового угла и др.) тоже ориентированы на значения параметров за время опорного отсчета или помеченные маркером в графическом окне отсчета. Изменяя значения опорного отсчета, можно по результатам одного сеанса измерений получить табличные протоколы, соответствующие различным стадиям исследования. В верхней части табличного протокола содержатся базовые (исходные) данные о дате и времени исследования, параметрах импеданса для отведения «правая кисть — правая стопа», о возрасте пациента, окружностях талии и бедер, росте, объеме и плотности тела, значении фазового угла в стандартном отведении. Номенклатура интегральных параметров дополнена значениями

Базовые данные на: 05.01.2015 19:39:49 — **Сопрот. (акт. на 5 и 50 кГц, реакт. на 50 кГц), Ом:** 563 / 484 / 57

Возраст, лет	28	Рост, см / Вес, кг	182 / 83.0	Плотность (кг/л)	1.0
Окр. талии / Окр. бедер, см	83 / 105	Объем тела (л)	79.1	Фазовый угол (50 кГц), град.	6.73

Регионы

Регионы	Акт.сопр. R (Ом) 5 кГц	50 кГц	Фаз. угол (град.) 50 кГц	БЖМ (кг)		ЖМ (кг)		Объем дин. (л)	Объем (л)	Объемы жидкостей ECW	TBW	ICW
Пр.рука	274.8	237.8	6.6	3.84	-3.19	0.42	23.99	4.26	3.96	1.35	2.78	1.43
Лев.рука	292.7	254.7	6.7	3.72		0.52		4.24	3.96	1.27	2.71	1.44
Лев.нога	274.5	236.5	6.9	12.43	-1.77	1.94	10.46	14.37	13.45	2.59	7.93	5.35
Пр.нога	261.6	222.5	7.4	12.66		1.75		14.41	13.45	2.71	8.07	5.35
Туловище	26.2	22.4	10.2	32.12		13.61		45.73	44.32	10.78	25.92	15.14

Интегральные параметры

Жировая масса тела (кг)	18.2	(%МТ)	22.0	(%БЖМ)	28.2		
Безжировая масса тела (кг)	64.8	(%МТ)	78.0	(ИБЖМ)	19.6		
Активная клеточная масса (кг)	37.0	(%БЖМ)	57.2	(ИАКМ)	11.2		
Скелетно-мышечная масса (кг)	34.4	(%БЖМ)	53.1	(ИСММ)	10.4		
Висцеральный жир (кг)	6.7	(%ЖМ)	37.0	(%БЖМ)	10.4	(%АКМ)	18.2
Основной обмен, ккал/сут.	1786	(/БЖМ)	27.6	(/ППТ)	871.0		
ECW - Внеклеточная жидкость (л)	18.7	(%МТ)	22.5	(%БЖМ)	28.9	(%АКМ)	50.5
TBW - Общая вода организма (л)	47.4	(%МТ)	57.1	(%БЖМ)	73.2	(%АКМ)	128.1
ICW - Внутриклеточная жидкость (л)	28.7	(%МТ)	34.6	(%БЖМ)	44.3	(%АКМ)	77.5
Объем циркулирующей крови (л)	6.59	(%БЖМ)	10.2	(%ECW)	35.2	(%АКМ)	17.8
Объем циркулирующей плазмы (л)	3.95						
Объем интерстициальной жидк.(л)	14.75						

Рис. 8.3. Протокол «Табличный». Значения в двух нижних строках интегральных параметров отсутствуют из-за того, что перед исследованием не были внесены значения гематокрита

массы висцерального жира, объемами циркулирующей крови, плазмы и интерстициальной жидкости. Большая часть параметров приведена вместе с относительными величинами; например, для общей, вне- и внутриклеточной жидкостей указываются их доли (в процентах) от общей массы тела, безжировой массы и активной клеточной массы.

8.3. Примеры применения

Полисегментная методика может применяться как для одномоментных оценок региональных и интегральных параметров состава тела, так и для динамических исследований длительностью до 40 минут, в том числе с нагрузочными тестами. Многократное одномоментное исследование используется при анализе медленных процессов: стадий реабилитации после травм конечностей, для оценки асимметрии тканей конечностей в результате разной нагруженности в ходе тренировочной деятельности спортсменов (теннисисты, фехтовальщики), оценки висцерального жира. Динамические исследования для оценки относительно быстротекущих процессов, таких как перераспределение жидкости между регионами и жидкостными секторами организма, изменение фазового угла, могут комбинироваться с ортостатическими тестами, трансфузионными воздействиями, физиотерапевтическими и лекарственными воздействиями и т. д.

1. Физическая нагрузка

На рис. 8.4 приведен вид окна визуализации «Регионы» с результатами тестов кистевой динамометрической нагрузки и работы бицепса правой руки. Табличные данные соответствуют 387-й секунде. График значений внеклеточной жидкости правой руки демонстрирует результаты проведенных манипуляций.

В начале эксперимента испытуемый принял позу, стандартную для биоимпедансных исследований: лежа на спине с разведенными конечностями. Со 126-й по 160-ю секунду испытуемый выполнял правой рукой упражнение жима на кистевом динамометре до уровня 0,7, от максимального личного показателя. С 175-й по 190-ю секунду испытуемый держал в руке кистевой динамометр, не прилагая усилий, для оценки влияния контакта с металлическим корпусом динамометра. С 243-й по 287-ю секунду испытуемый в произвольном темпе сгибал правую руку в локтевом суставе. Далее, до конца эксперимента испытуемый лежал в позе биоимпедансных исследований.

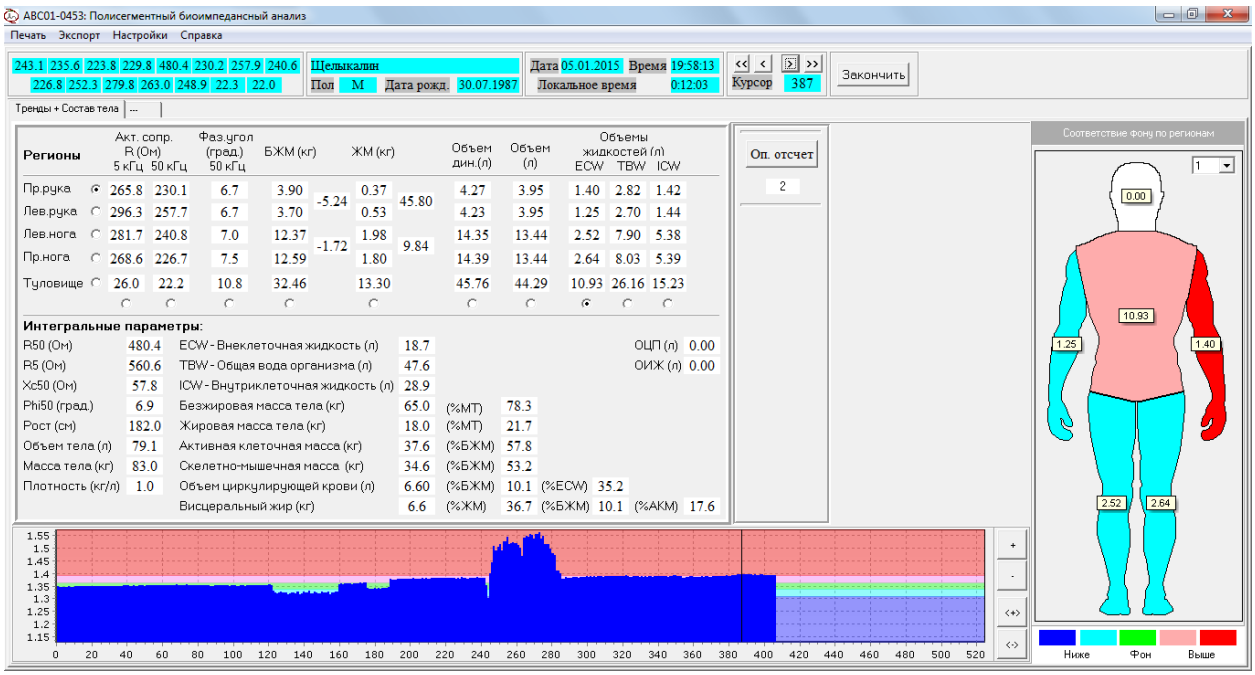


Рис. 8.4. Окно визуализации «Регионы» с результатами последовательно проведенных тестов кистевой динамометрической нагрузки и работы бицепса правой руки

2. Поднятые конечности

На рис. 8.5 приведен вид окна визуализации «Регионы» с результатами тестов пассивного приподнимания и пассивного удержания левой ноги так, что нога и поверхности кушетки образовывали углы 30° (с 52-й до 78-й секунды) и 45° (с 78-й до 102-й секунды). На графике видно, что до 52-й секунды объем внеклеточной жидкости в правой ноге не изменялся. 53-й секунде наблюдения соответствует артефакт касания ноги рукой оператора, проводившего исследование, в момент перекладывания ноги на подпяточную подставку.

Снижение объема внеклеточной жидкости в венозном русле правой ноги произошло за время, сравнимое с длительностью одного отсчета, и составило 20 мл. Следующий этап изменения положения правой ноги, до угла 45° относительно горизонтали, был произведен на 80-й секунде. В результате общее снижение объема внеклеточной жидкости составило около 90 мл. Это было зафиксировано и на картинке с силуэтом человека с правой стороны окна визуализации. Изображение правой ноги изменило цвет с зеленого на голубой. Цвет туловища стал розовым, остальные конечности не поменяли окраску.

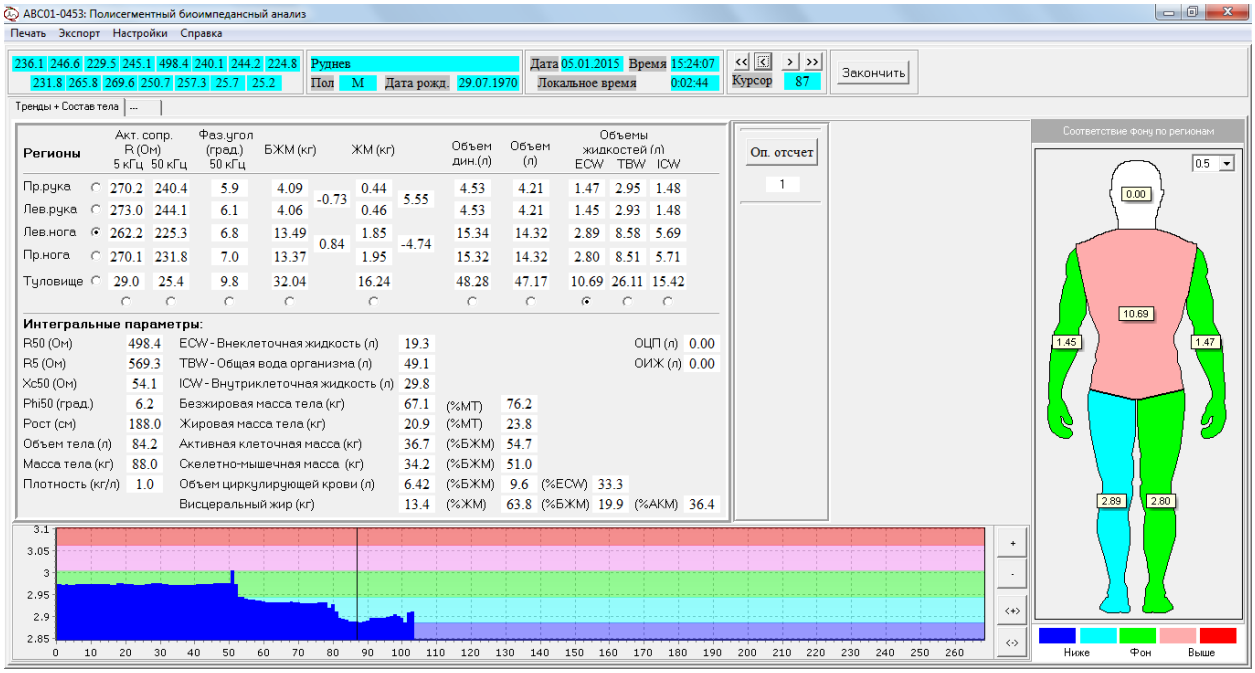


Рис. 8.5. Окно визуализации «Регионы» с результатами последовательно проведенных тестов приподнимания левой ноги

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биоимпедансный анализ состава тела еще не занял достойного места в отечественной медицине. Это связано отнюдь не с отсутствием предложения соответствующей аппаратуры на рынке медицинской техники или с недостаточностью материальных средств у медицинских учреждений. Авторы видят причину данного явления в образовавшихся за последние двадцать лет пробелах в учебных программах медицинских вузов и надеются, что настоящее учебное пособие послужит исправлению этого положения. Вторая причина меньшего, по сравнению с зарубежной клинической практикой, распространения технологии заключается в неоправданно узкой трактовке практическими врачами биоимпедансного анализа состава тела как метода оценки исключительно жировой массы. Перечень практических медицинских приложений биоимпедансного метода значительно шире, чем содержится в данном пособии. Описанная технология используется в десятках направлений медицинской диагностики, и мы старались показать общие подходы к технике измерений, алгоритмам расчета параметров состава тела и интерпретации полученных данных в применении к разным видам исследований и моделям биоимпедансных анализаторов состава тела.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г.* Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
2. *Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г.* Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 256 с.
3. *Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г., Николаев Д.В.* Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе: учебное пособие для студентов вузов. М.: Физическая культура, 2010. 119 с.
4. *Руднев С.Г. и др.* Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 492 с.
5. Руководство по кардиологии в четырех томах. Том 2: Методы диагностики сердечно-сосудистых заболеваний / Под редакцией Чазова Е.И. – М.; Практика, 2014. – С. 191-203.
6. Парентеральное и энтеральное питание: национальное руководство. / Под ред. М.Ш. Хубутия, Т.С. Поповой, А.И. Салтанова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 800 с.

Дополнительная литература

1. *Bosy-Westphal A., Danielzik S., Dorhofer R.-P.* et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index // J. Parenteral Enteral Nutr. 2006. Vol. 30. P. 309–316.
2. *Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B.* (ed.) Human body composition. Champaign (Ill.): Human Kinetics, 2005. 533 p.
3. *Heymsfield S.B., Wang Z., Baumgartner R.N., Ross R.* Human body composition: advances in models and methods // Annu. Rev. Nutr. 1997. Vol. 17. P. 527–558.
4. *Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D.* et al. Bioelectrical impedance analysis. I. Review of principles and methods // Clin. Nutr. 2004. Vol. 23. P. 1226–1243.
5. *Kyle U.G., Genton L., Karsegard L.* et al. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–94 years // Nutrition. 2001. Vol. 17. P. 248–253.

6. *Selberg O., Selberg D.* Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis // Eur. J. Appl. Physiol. 2002. Vol. 86. P. 509–516.

Источники иллюстраций

1. http://www.accufitness.com/body-fat-calipers/fattrack-pro-digital-body-fat-measurement-system
2. http://www.futrex.com
3. http://www.bodpod.com/en/products/body-composition/adult-children-bod-pod-gs
4. http://www3.gehealthcare.com/en/products/categories/metabolic_health/dxa_for_metabolic_health/prodigy_for_metabolic_health
5. http://www.healthcare.philips.com/main/products/ct/products/ct_brilliance_64_channel/#&&/wEXAQUOY3VycmVudFRhYlBhdGgFD0RldGFpbHM6R2FsbGVyefMOcok9et7WLNye3/SlaaNGSvfT
6. http://www.healthcare.philips.com/main/products/mri/systems/multiva/multiva8ch/
7. http://www.cosmed.it/en/products/indirect-calorimetry/quark-rmr-indirect-calorimetry-lab
8. http://www.akern.com/en/products/bia-101.html
9. http://www.tanita.com/en/sc-240/
10. http://www.omron-healthcare.com/eu/en/our-products/weight-management/bf306
11. http://www.bodystat.com/products/1500MDD
12. http://www.rjlsystems.com/products/quantum-x/#section=description
13. http://www.biodyncorp.com/product/450/photo_450.html

ПРИЛОЖЕНИЯ

П1. Графики зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей антропометрических показателей, параметров состава тела и основного обмена, по данным центров здоровья

В настоящем разделе приведены графики центилей параметров состава тела, антропометрических параметров, метаболических коррелятов от возраста пациентов. Данные были получены в широкомасштабном исследовании, прошедшем в центрах здоровья России в период с 2010 по 2012 год. В исследования было включено более 800 тысяч человек в возрасте от 5 до 85 лет.

Представленные графики центильных кривых могут быть использованы:

— в практической работе для оценки состояния на уровне отдельных индивидуумов;

— в исследованиях спортивных, профессиональных, клинических и других групп;

— для сравнения представителей группы разного возраста между собой с учетом возрастных изменений параметров;

— в групповых исследованиях для сопоставления с популяционными значениями;

— при сравнении нескольких групп из разных возрастных категорий;

— в качестве наглядного справочного пособия для изучения допустимых значений параметров состава тела при работе специалистов, использующих биоимпедансный анализ в различных областях практической медицины.

Для построения графиков были использованы таблицы данных, опубликованные в книге «Биоимпедансное исследование состава тела населения России», дополненные данными по общей минеральной массе, минеральной массе мягких тканей и костной ткани.

Данные мужской части популяции представлены слева, женской — справа.

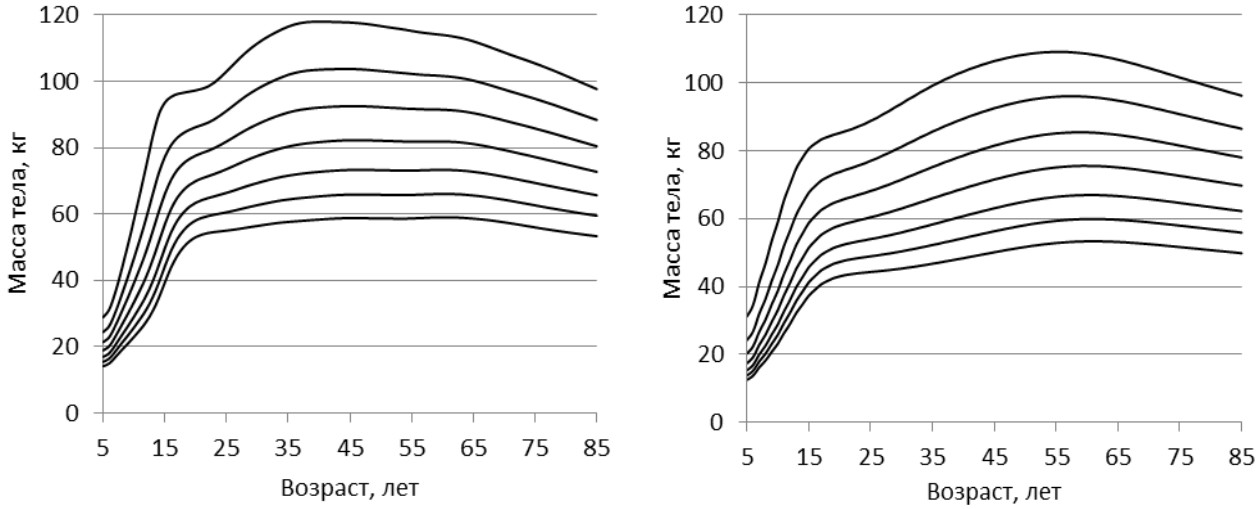


Рис. П1.1. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей массы тела

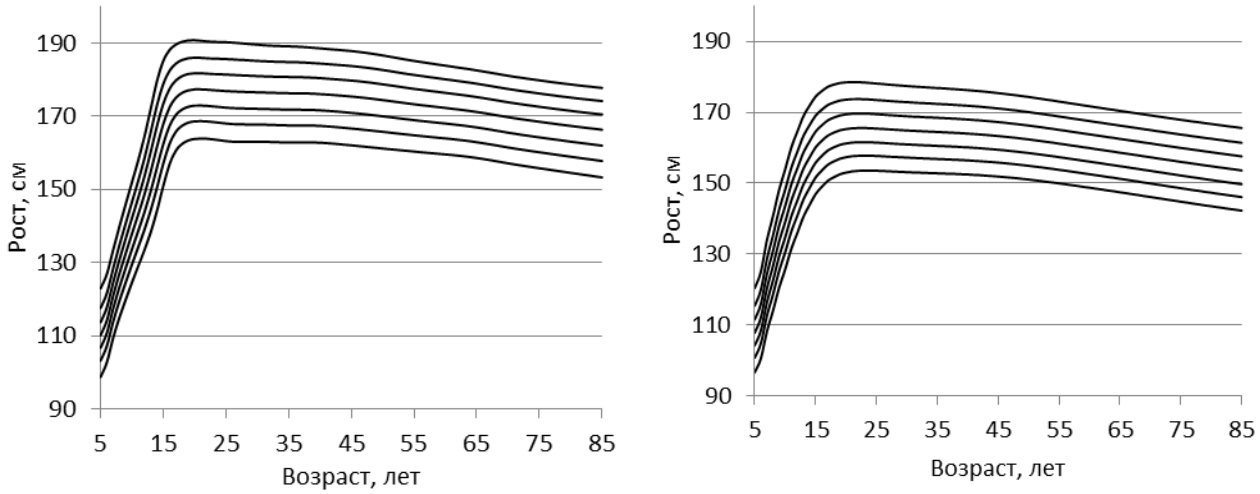


Рис. П1.2. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей роста

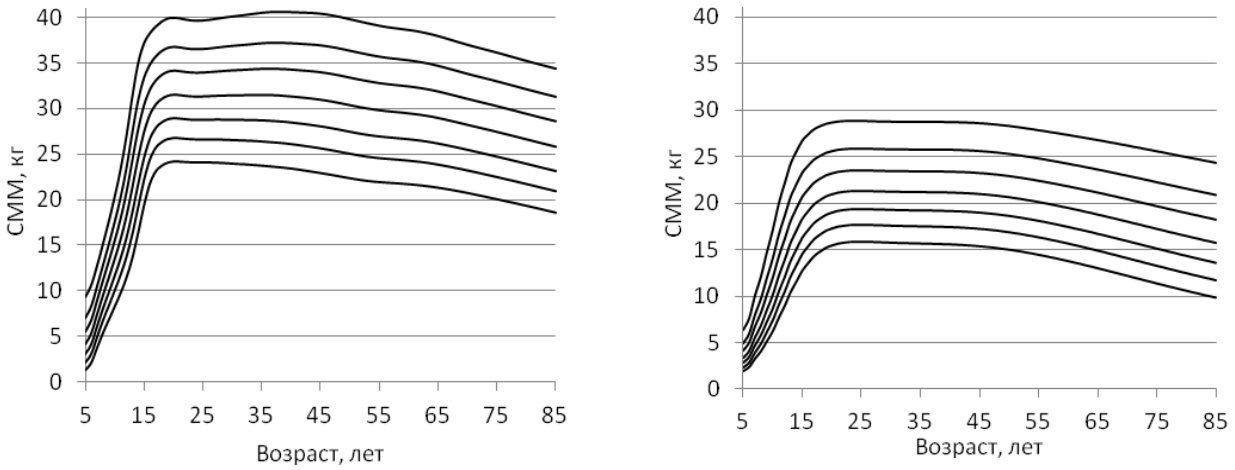


Рис. П1.3. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей СММ

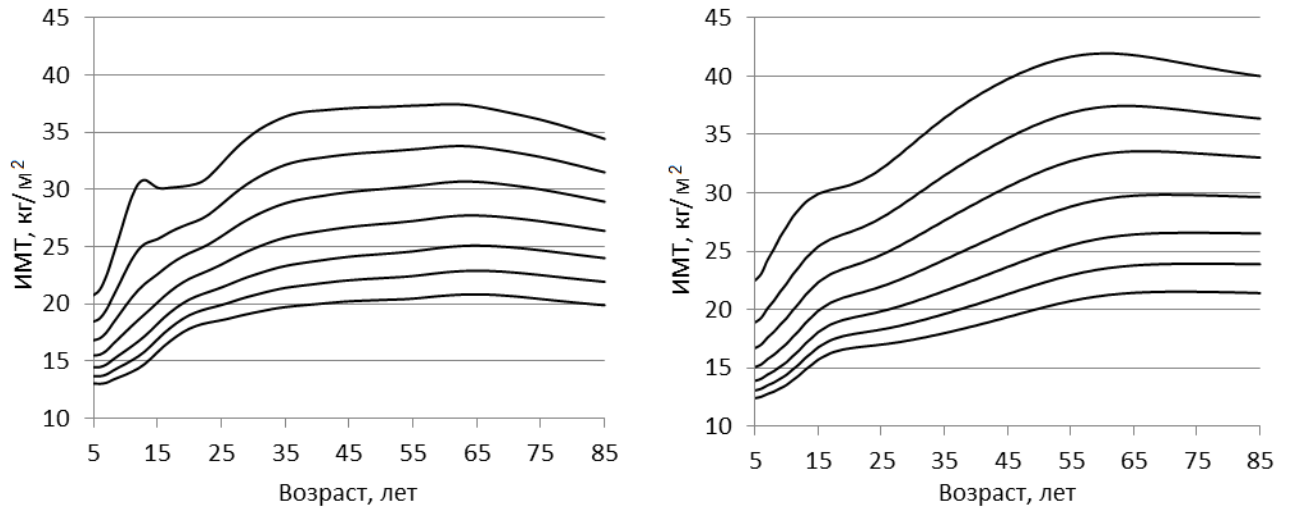


Рис. П1.4. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ИМТ

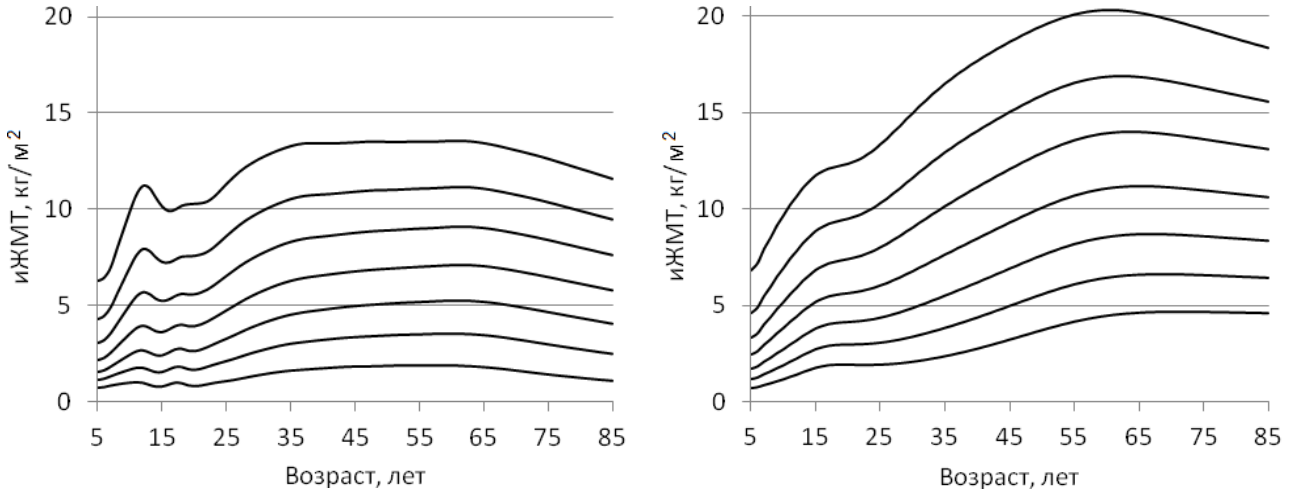


Рис. П1.5. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса ЖМТ

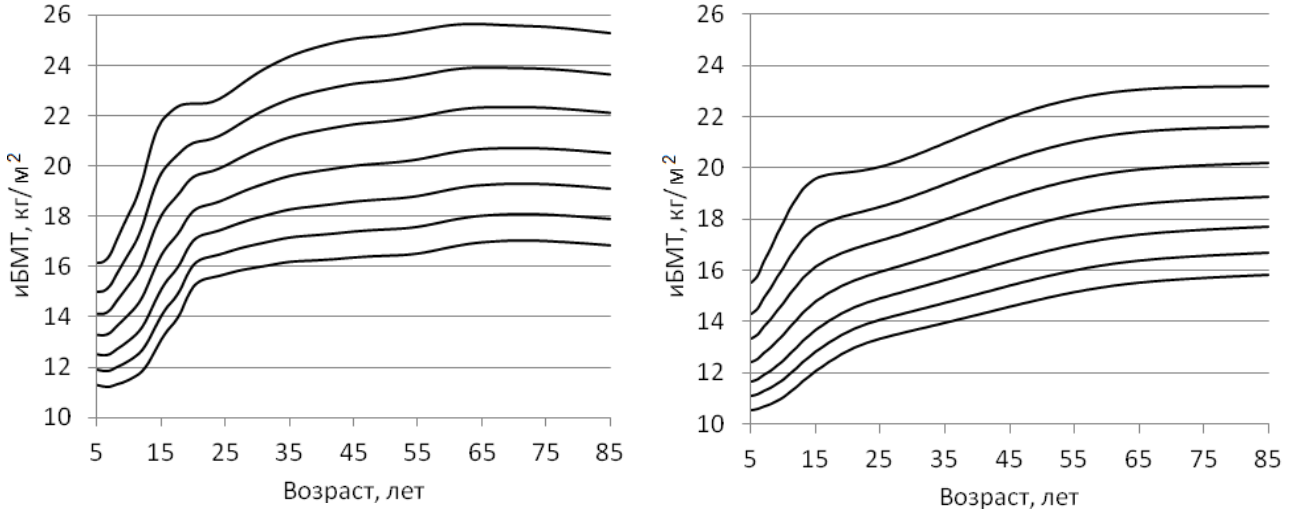


Рис. П1.6. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса БМТ

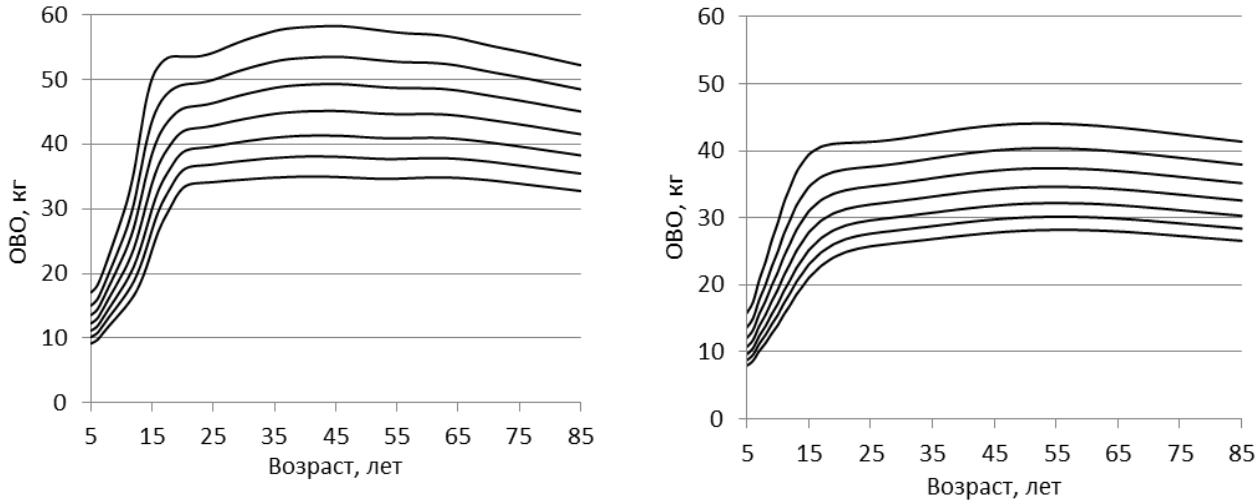


Рис. П1.7. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОВО

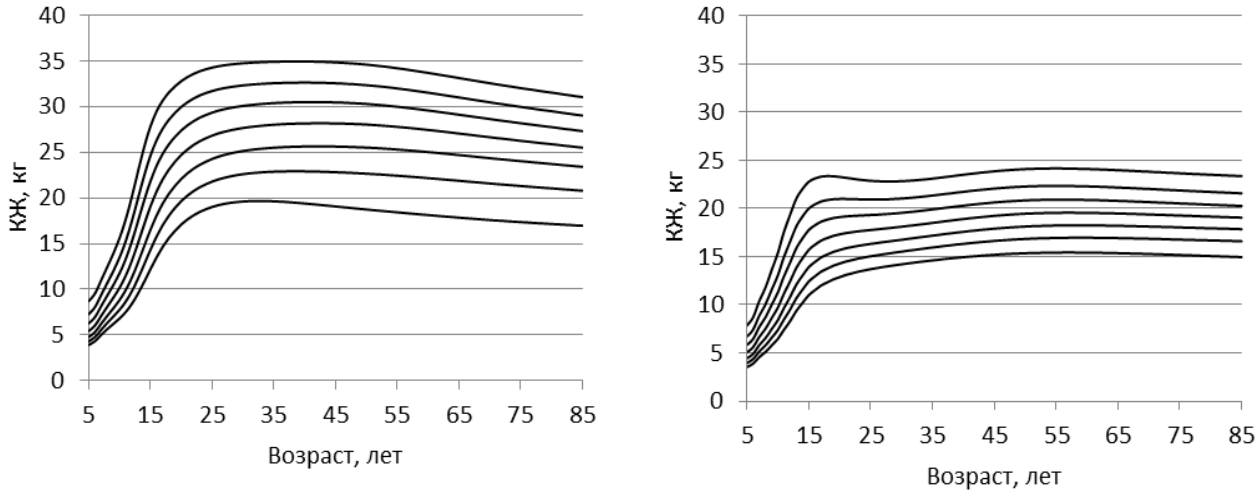


Рис. П1.8. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей КЖ

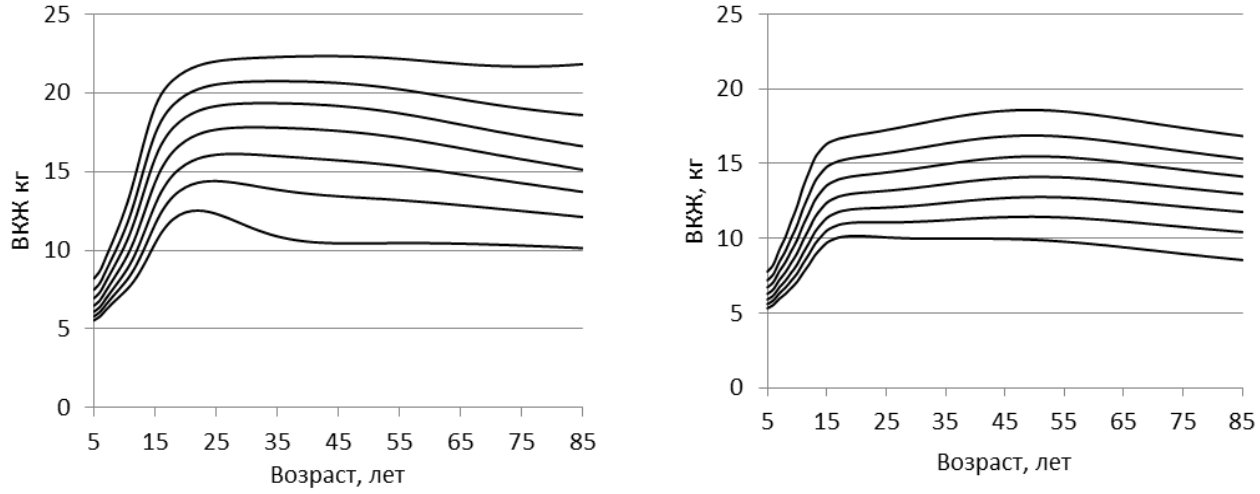


Рис. П1.9. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ВКЖ

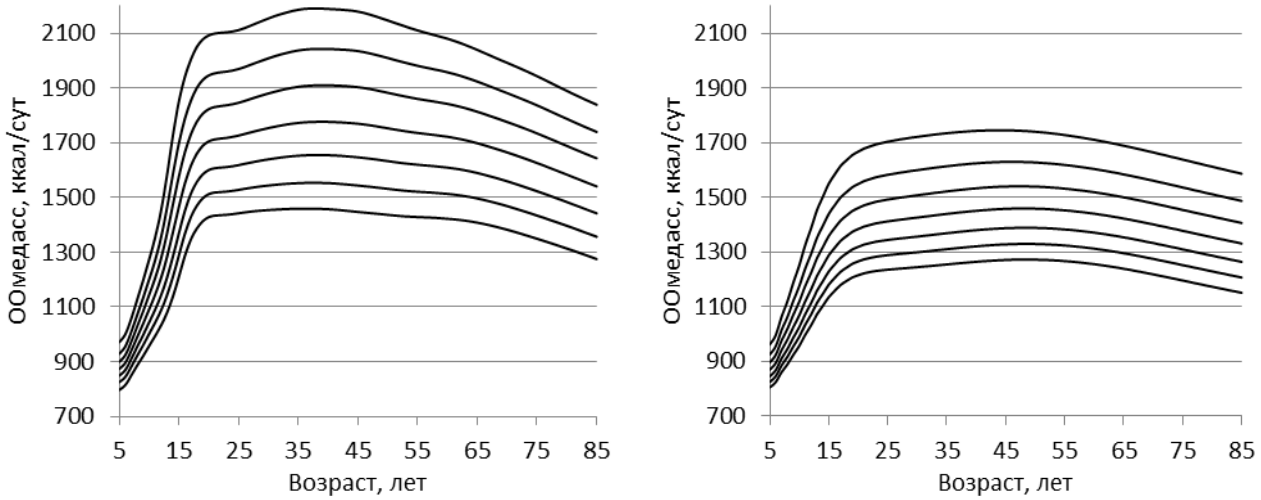


Рис. П1.10. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОО, рассчитанного по формуле анализатора «АВС-01 МЕДАСС»

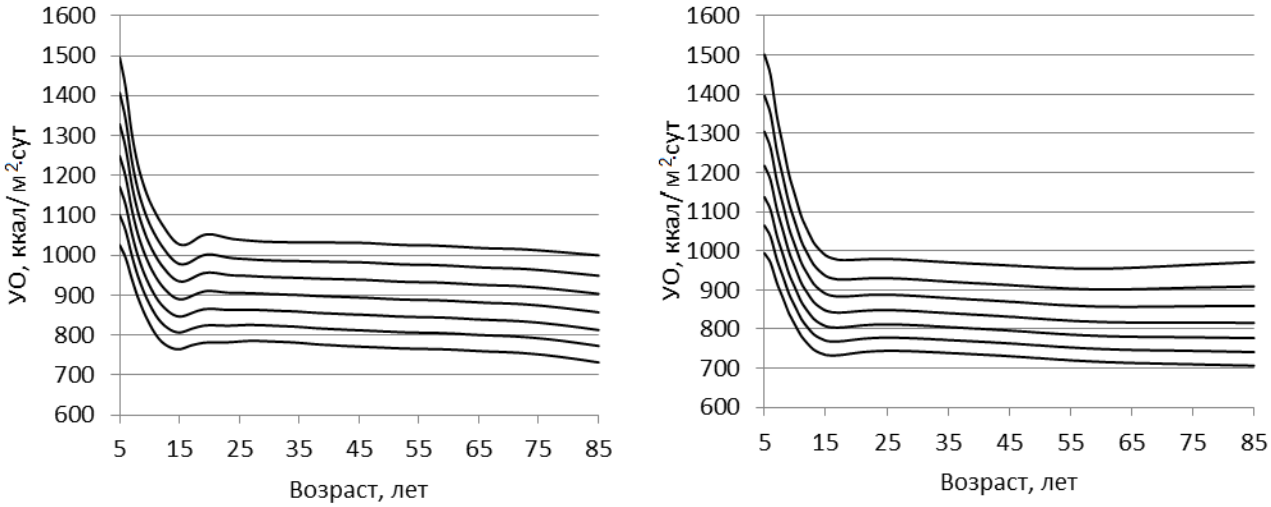


Рис. П1.11. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей УОО, рассчитанного по формуле анализатора «АВС-01 МЕДАСС», нормированного на площадь поверхности тела

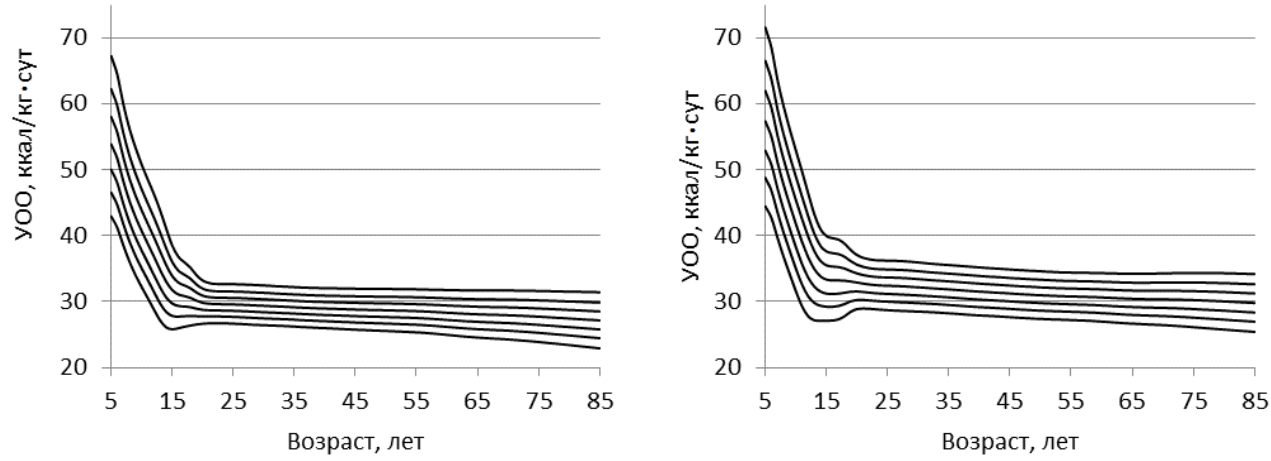


Рис. П1.12. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей УОО, рассчитанного по формуле анализатора «АВС-01 МЕДАСС», нормированного на БЖМТ

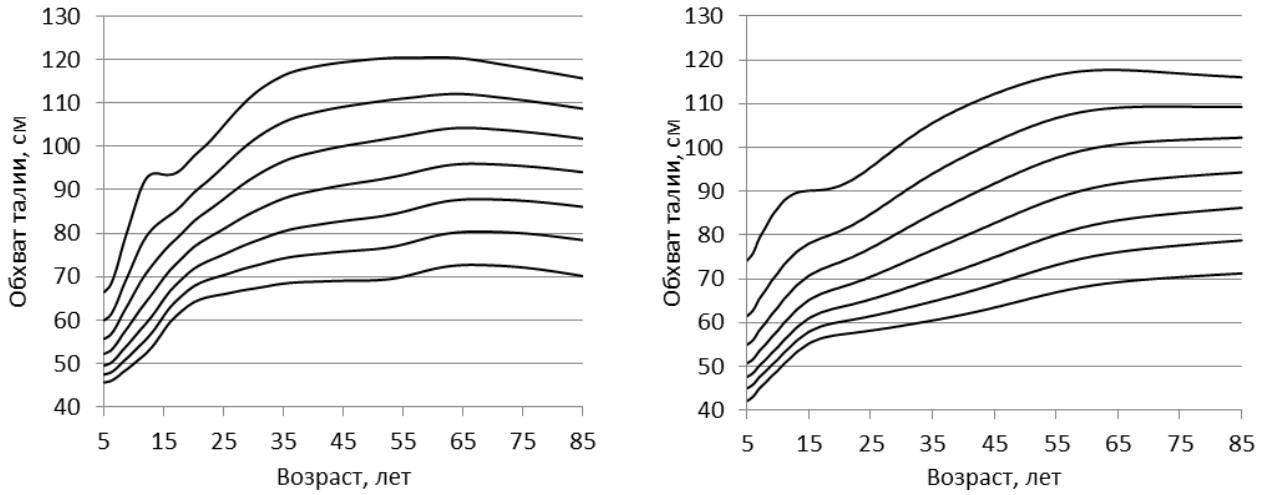


Рис. П1.13. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОТ

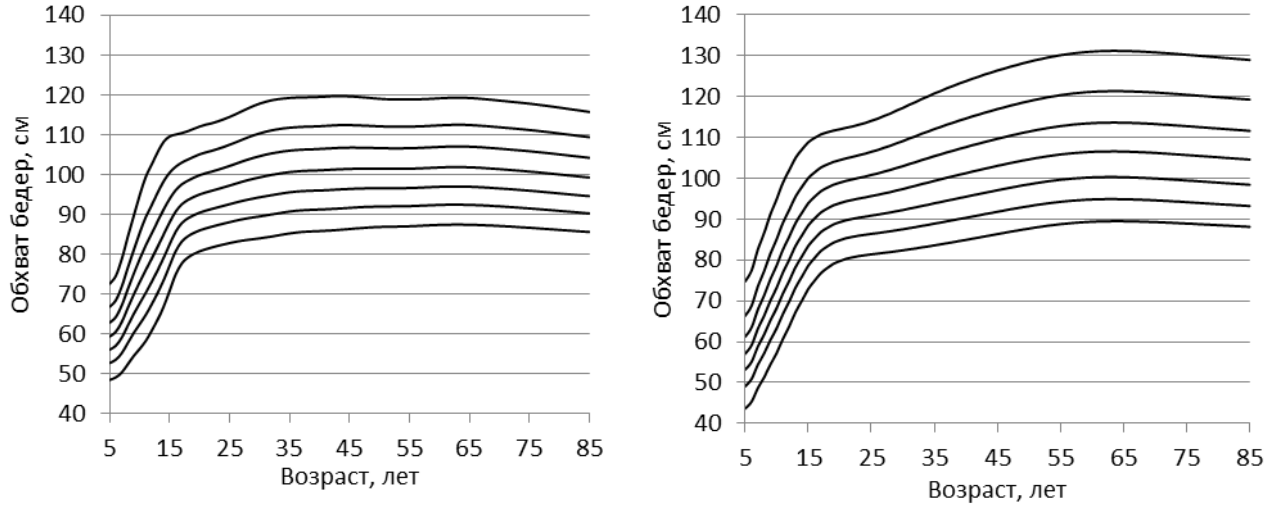


Рис. П1.14. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОБ

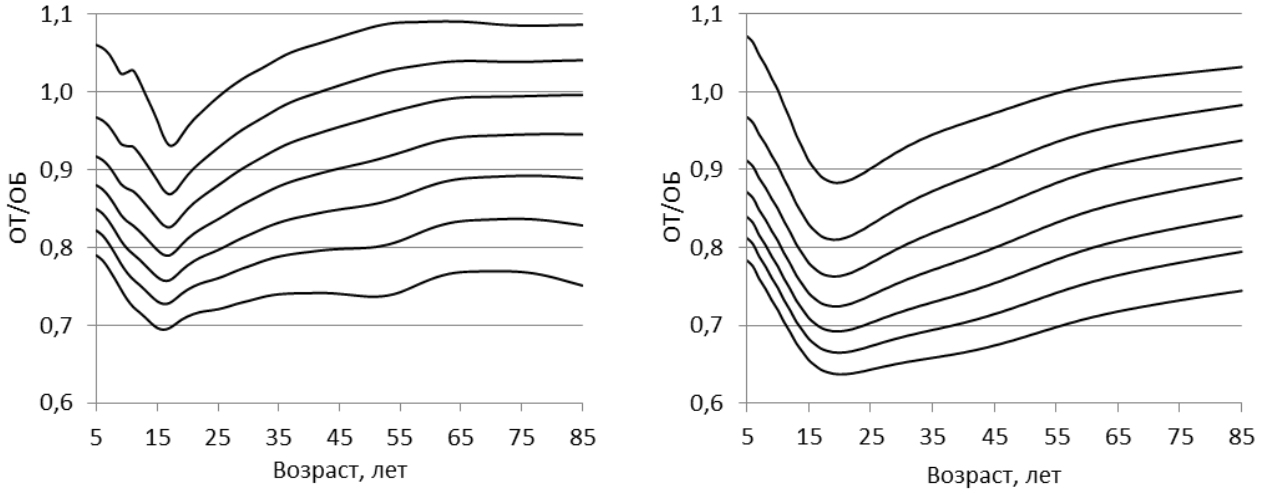


Рис. П1.15. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ИТБ

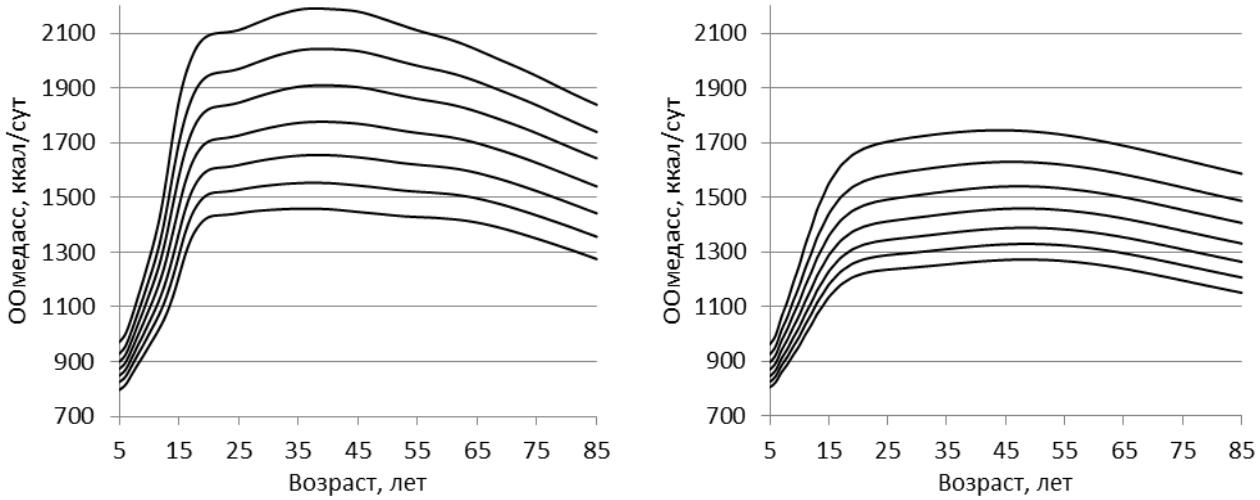


Рис. П1.16 Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОО, рассчитанного по формуле анализатора «АВС-01 МЕДАСС»

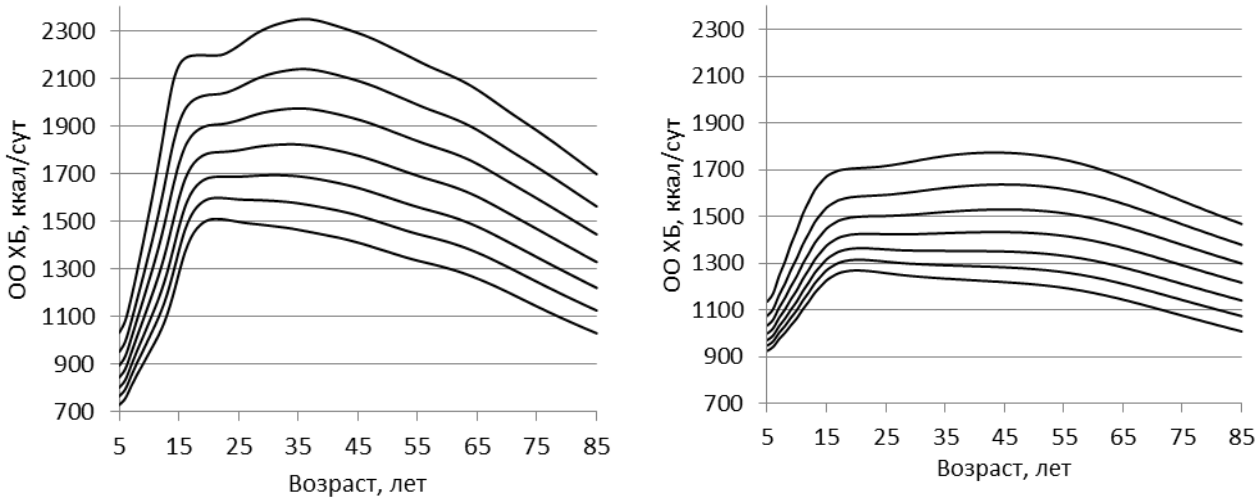


Рис. П1.17. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОО по Харрису и Бенедикту

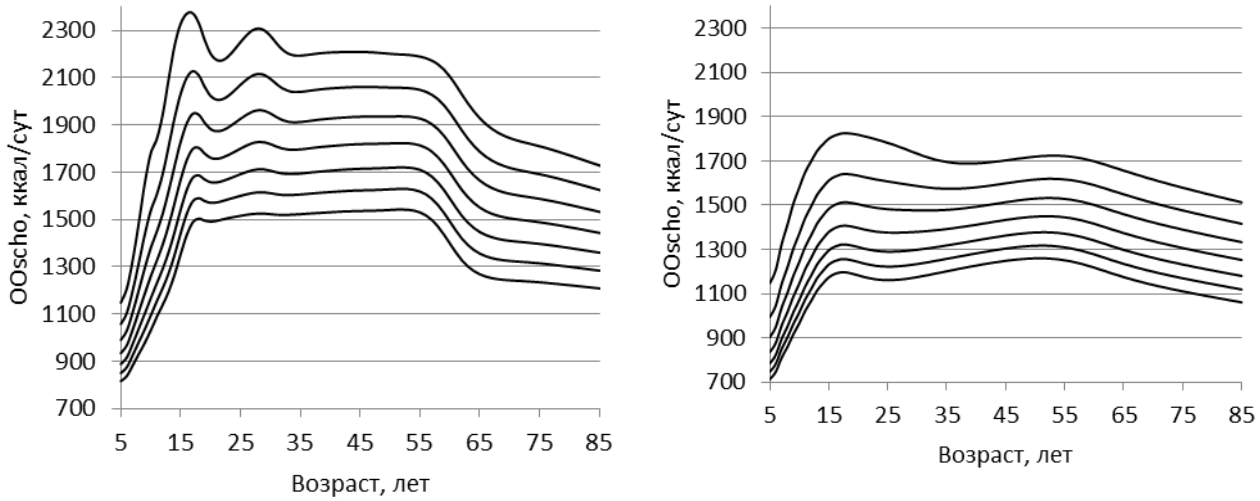


Рис. П1.18. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ОО по Скофилду

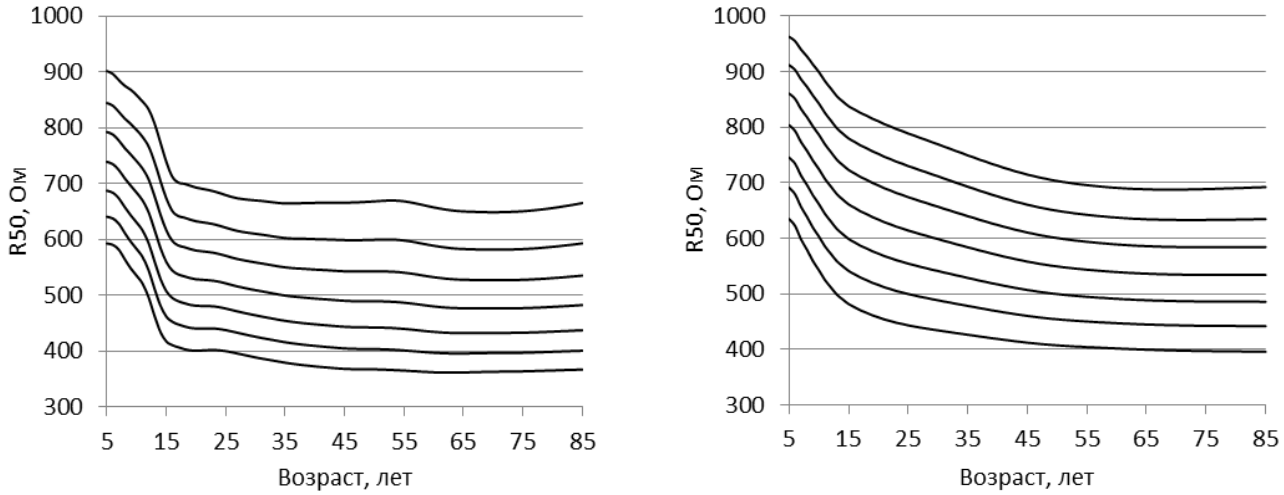


Рис. П1.19. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей R50

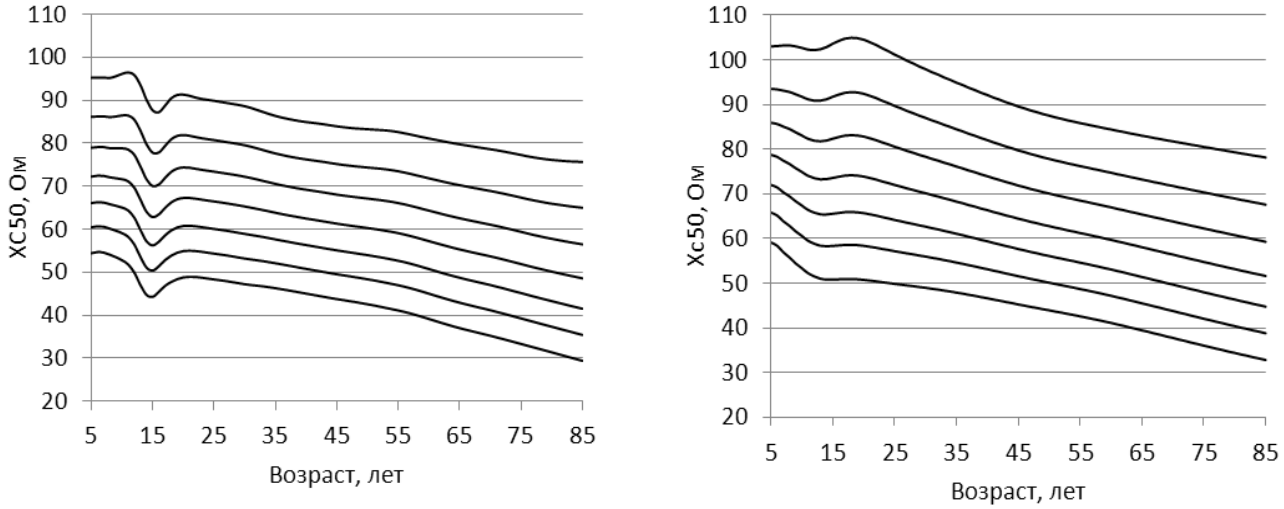


Рис. П1.20. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей Хс50

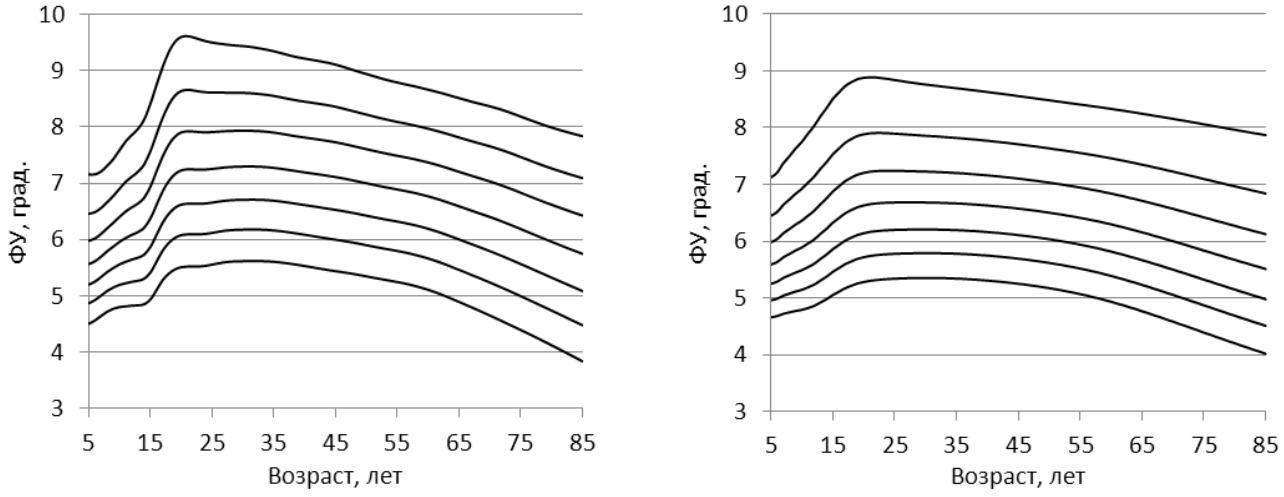


Рис. П1.21. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ФУ

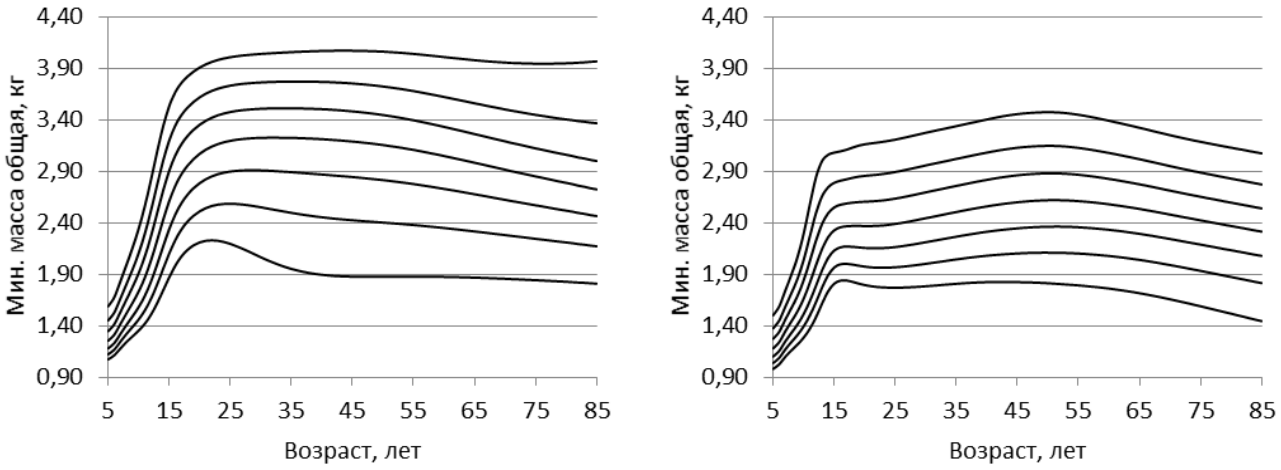


Рис. П1.22. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей общей минеральной массы

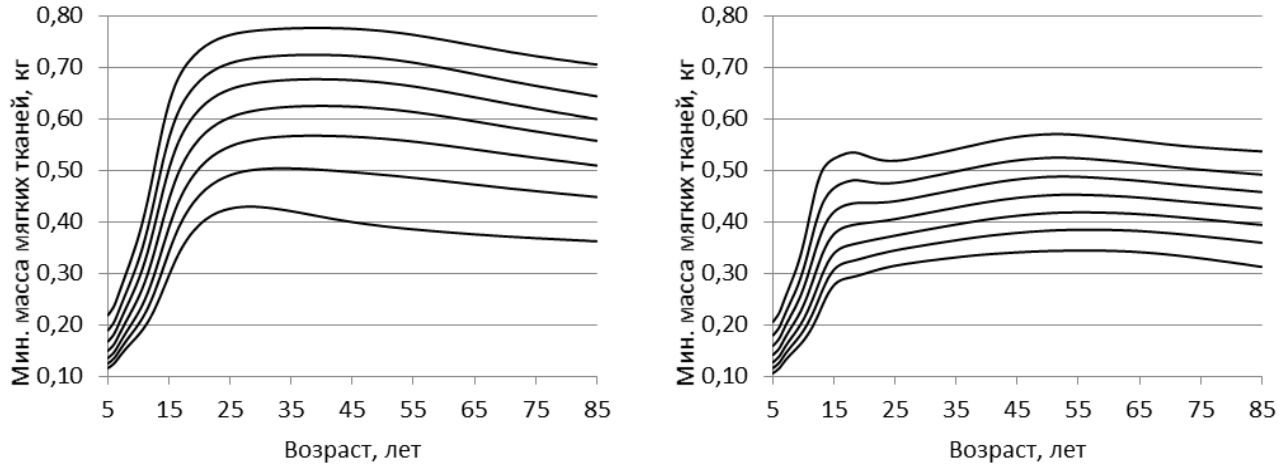


Рис. П1.23. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей минеральной массы мягких тканей

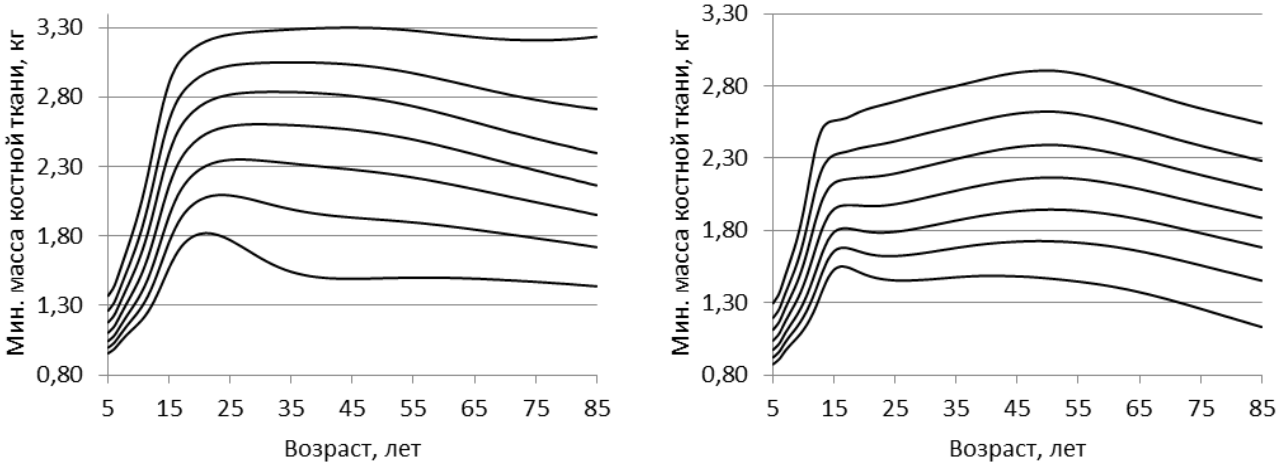


Рис. П1.24. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей минеральной массы костных тканей

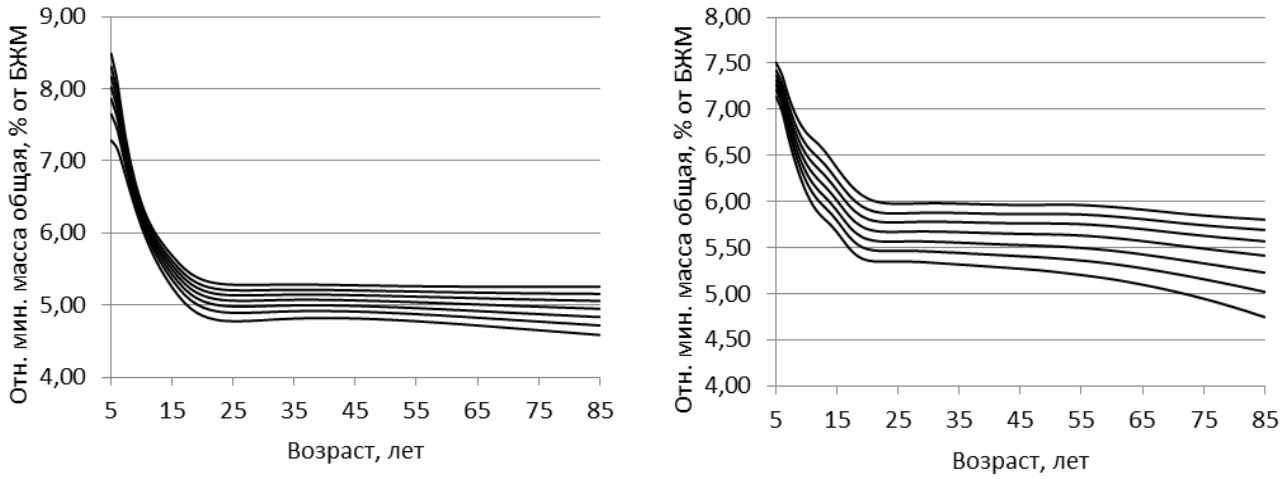


Рис. П1.25. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей относительной общей минеральной массы (% от БЖМТ)

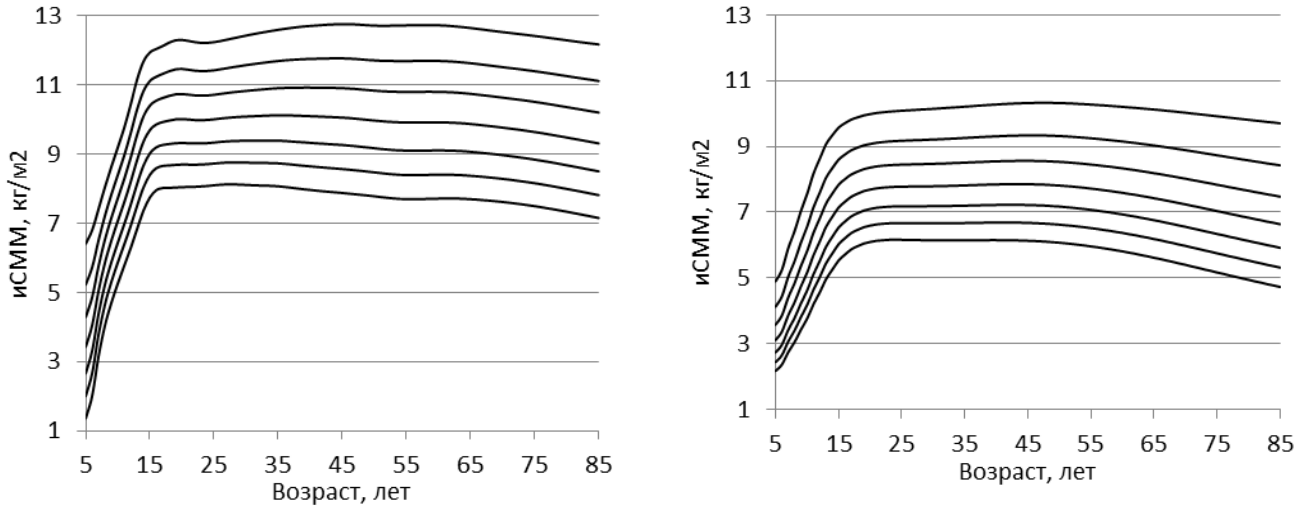


Рис. П1.26. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса СММ

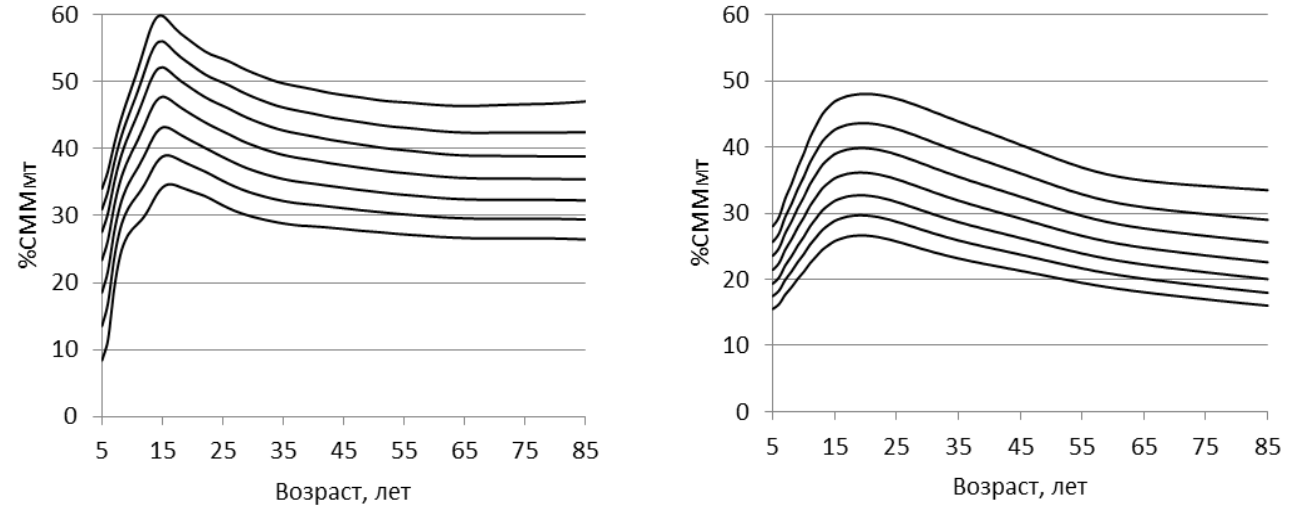


Рис. П1.27. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей %СММ в массе тела

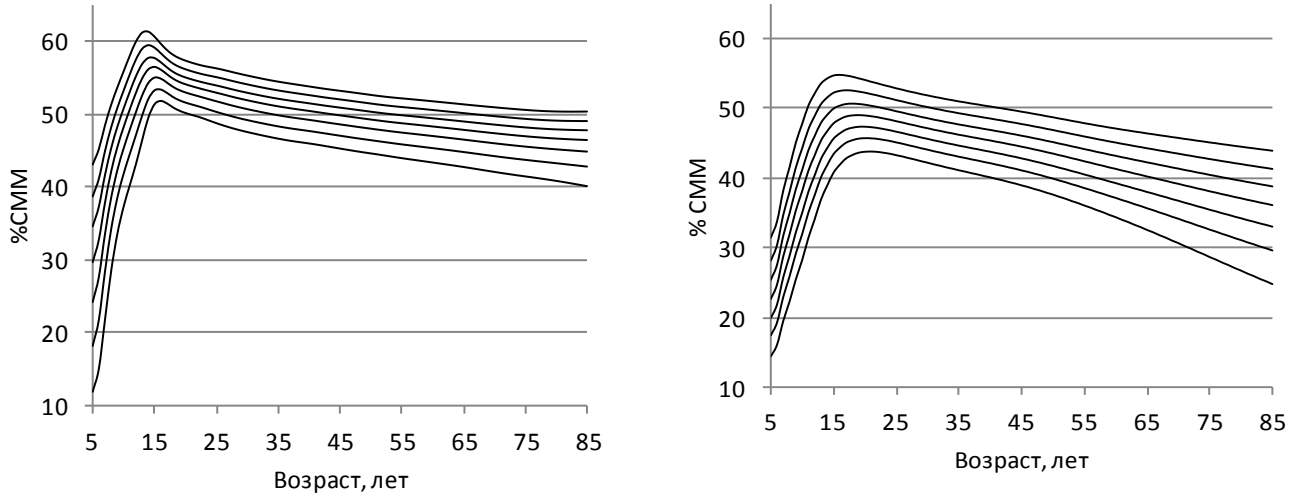


Рис. П1.28. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей %СММ в безжировой массе тела

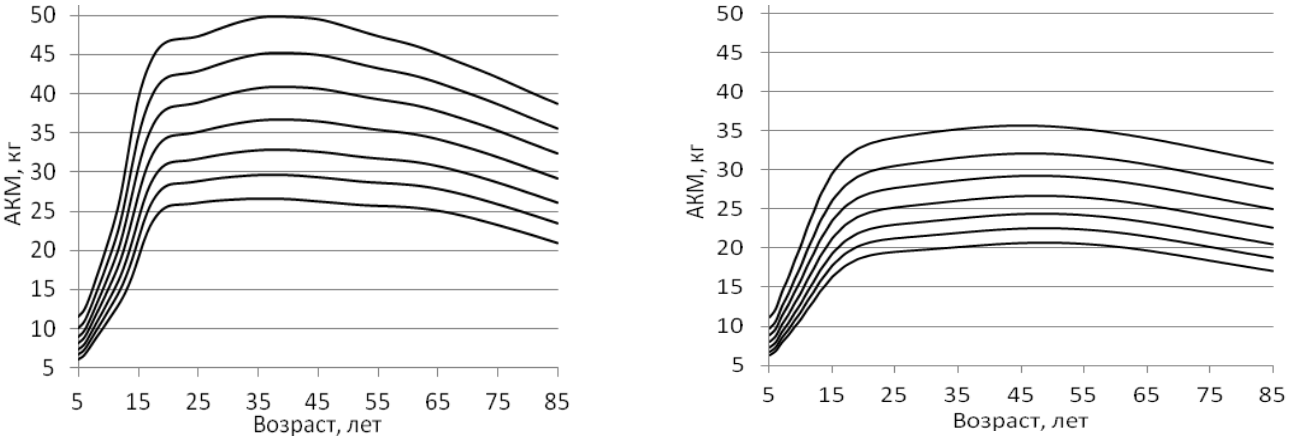


Рис. П1.29. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей АКМ

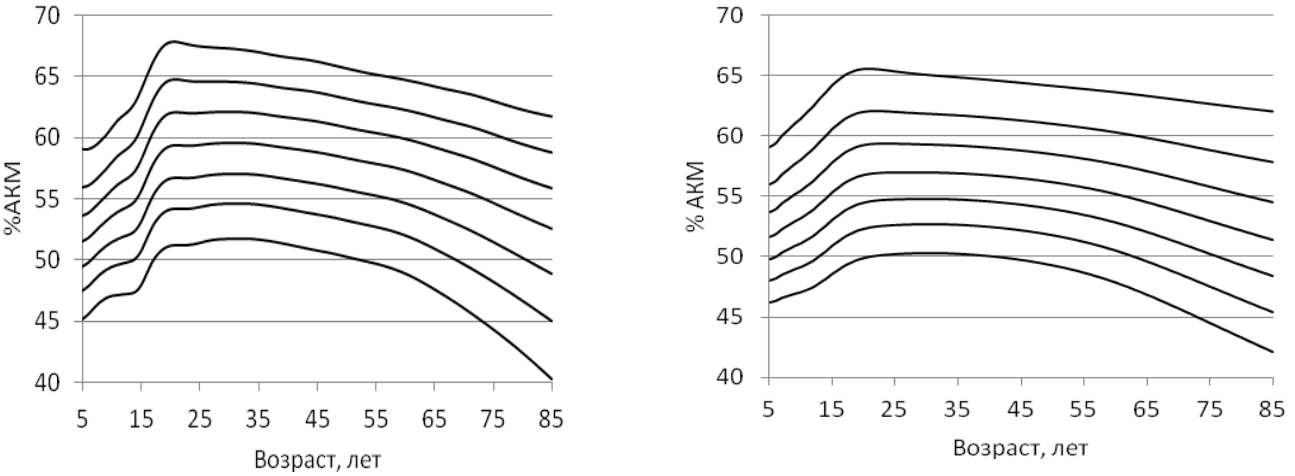


Рис. П1.30 Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей %АКМ в безжировой массе

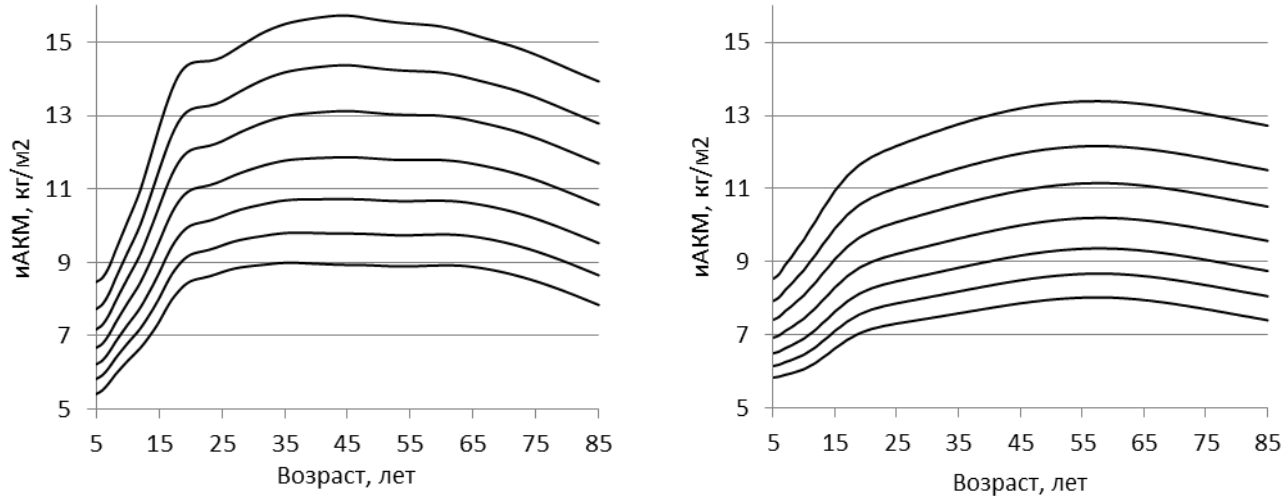


Рис. П1.31. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса АКМ

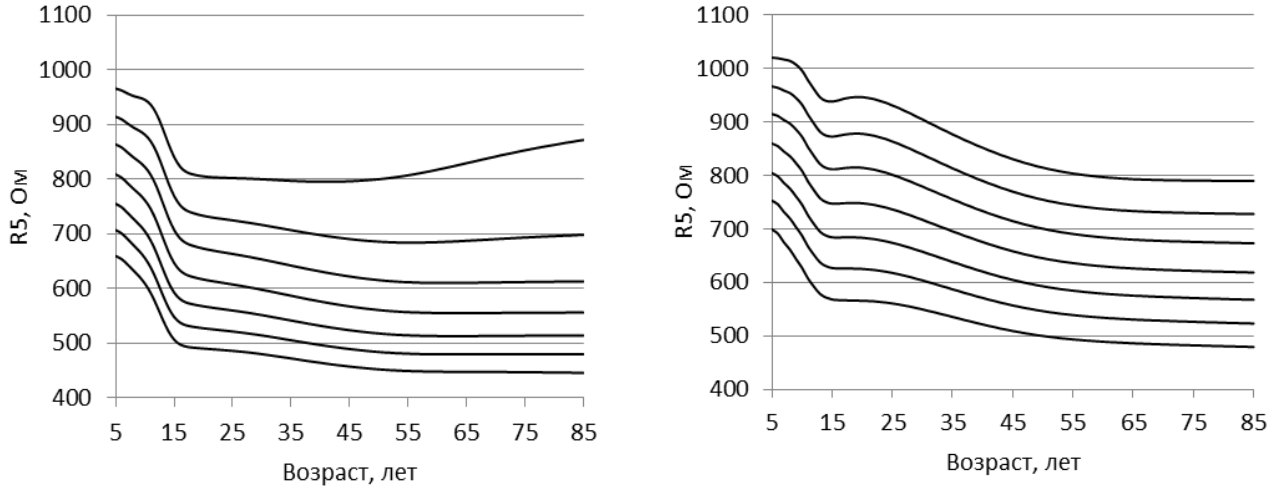


Рис. П1.32. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей R5

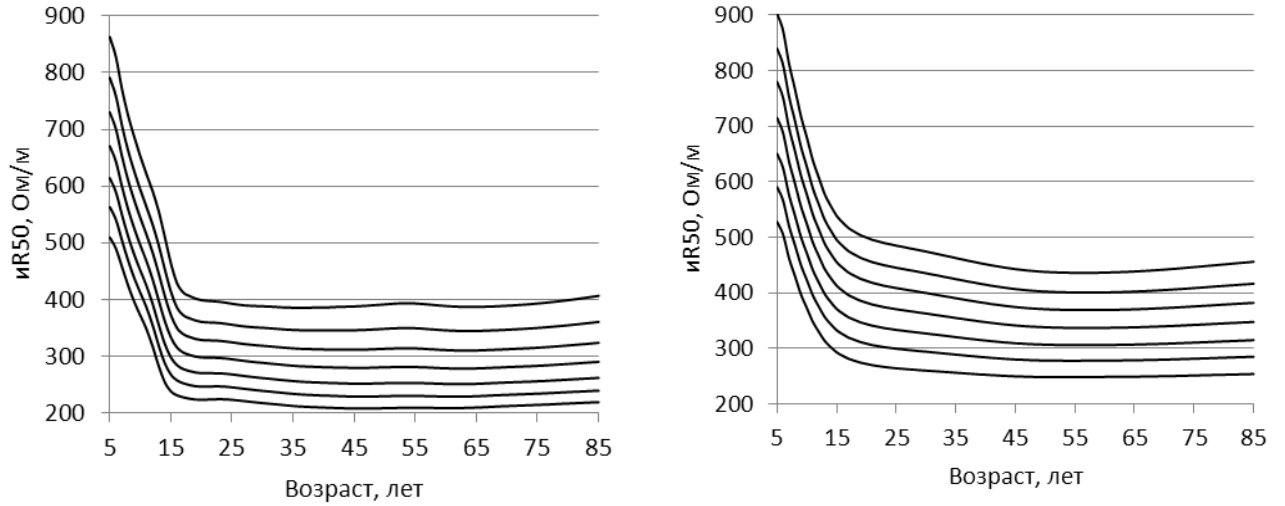


Рис. П1.33. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса R50

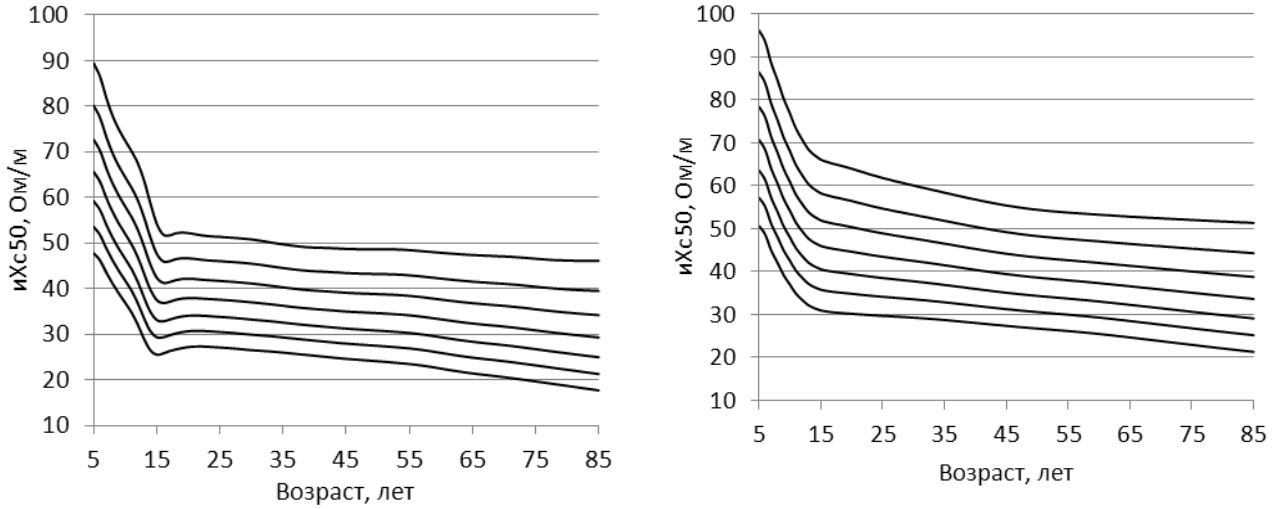


Рис. П1.34. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей индекса Хс50

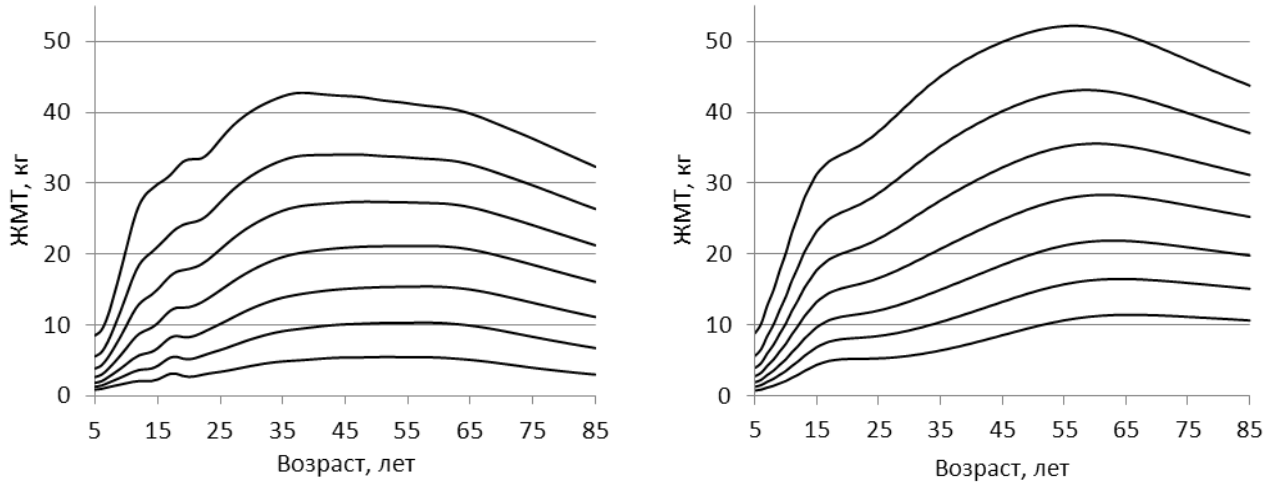


Рис. П1.35. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей ЖМТ

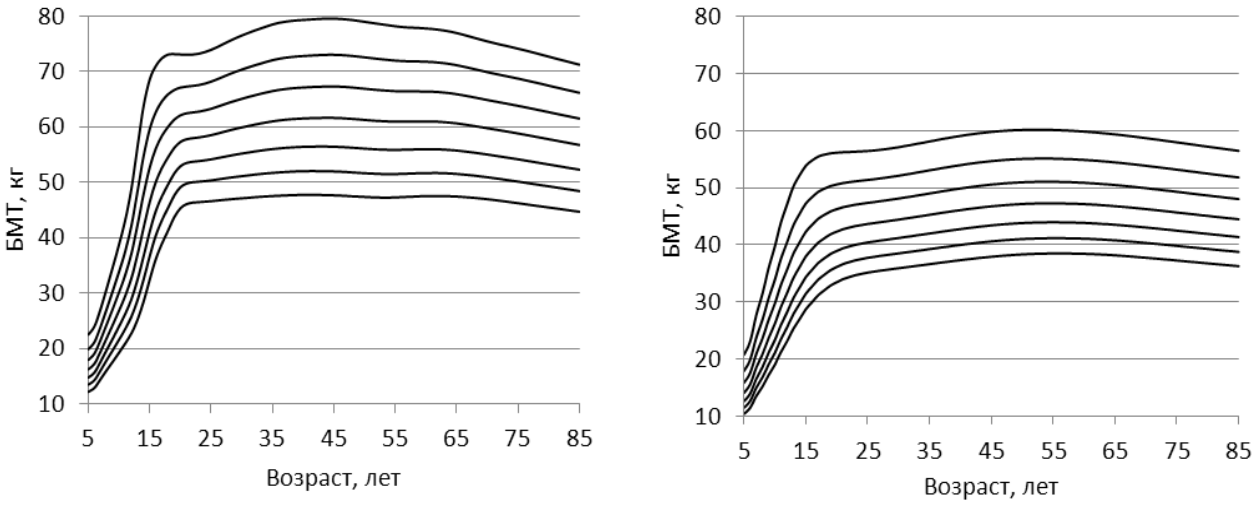


Рис. П1.36. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей БМТ

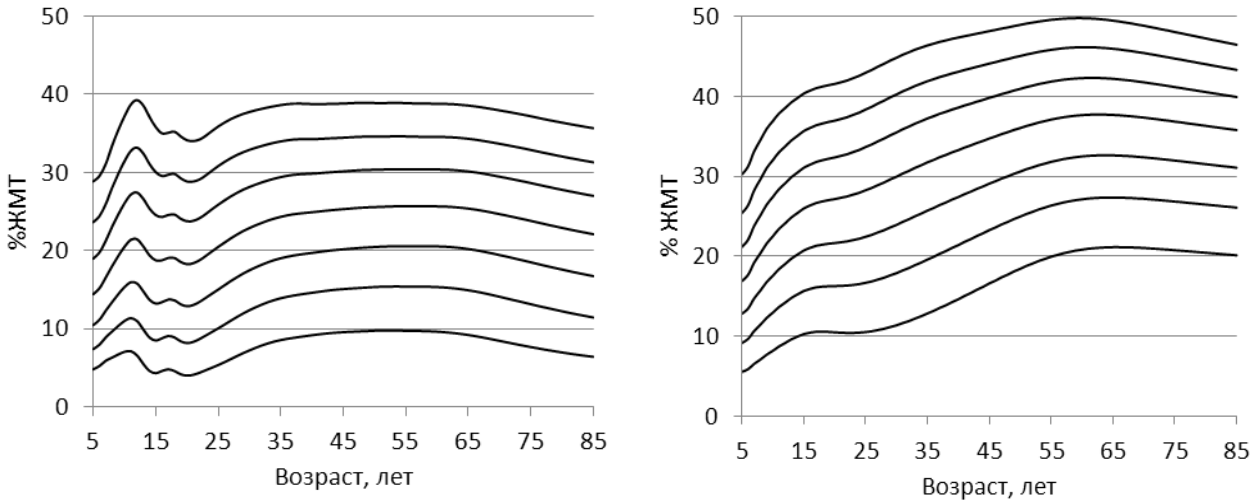


Рис. П1.37. Зависимости от возраста 3, 10, 25, 50, 75, 90 и 97-го центилей %ЖМТ

П2. Тестовые задания

ТИП 1

1	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Причиной, по которой индекс массы тела на индивидуальном уровне часто не отражает степени жироотложения, является несоответствие нормальным значениям: а) жировой массы; б) активной клеточной массы; в) основного обмена; г) безжировой массы; д) скелетно-мышечной массы.
2	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Причиной, по которой значения обхвата талии на индивидуальном уровне не всегда отражают степень жироотложения, является: а) невысокая точность измерения сантиметровой лентой; б) зависимость обхвата талии от степени наполнения кишечника; в) существование различных типов жироотложения; г) трудности в определении места измерения талии; д) отсутствие учета роста обследуемого в формировании критерия.
3	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Гидратация безжировой массы составляет в норме: а) 60 % у мужчин, 50 % у женщин; б) зависит от текущего значения температуры тела; в) около 73 %; г) зависит от наполнения мочевого пузыря; д) 54,6 %.
4	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Наименьшим значением удельного сопротивления характеризуется: а) скелетно-мышечная ткань; б) гладкомышечная ткань; в) кровь; г) спинномозговая жидкость; д) слюна.

5	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Проведение биоимпедансных исследований не показано: а) пациентам, принимающим диуретические препараты; б) пациентам с вживленным кардиостимулятором; в) беременным; г) при отравлении психотропными препаратами; д) контингенту старше 60 лет.
6	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Оценка риска инвалидизации у пациентов старше 60 лет производится на основе анализа: а) индекса массы тела; б) процента жировой массы тела; в) индекса безжировой массы тела; г) индекса скелетно-мышечной массы тела; д) активной клеточной массы.
7	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Примерное соотношение площадей поперечного сечения голени и туловища составляет: а) 1 : 10; б) 1 : 20; в) 1 : 2; г) 1 : 5.
8	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Примерное соотношение площадей поперечного сечения руки и туловища составляет: а) 1 : 10; б) 1 : 20; в) 1 : 2; г) 1 : 5.
9	*Выберите один наиболее правильный ответ.* В зоне низкой чувствительности при стандартном (запястье и голеностоп) наложении четырех электродов находится: а) предплечье со стороны наложения электродов; б) голень со стороны наложения электродов; в) малый таз; г) бедро со стороны наложения электродов; д) плечо со стороны наложения электродов.

10	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Ложное ожирение может быть обнаружено: а) в случае длительной гиподинамии; б) при проведении измерения после приема жидкости; в) при гипертрофии мышечной ткани; г) при отеках.
11	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Исследование естественной радиоактивности всего тела по ^{40}К позволяет оценить следующую компоненту состава тела: а) жировая масса тела; б) безжировая масса тела; в) скелетно-мышечная масса тела; г) клеточная масса тела; д) внеклеточная жидкость.
12	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Целью проведения калориметрии является оценка: а) основного обмена организма; б) цветового зрения; в) устойчивости индивида к охлаждению; г) особенностей протекания химических реакций в организме.
13	*Выберите один наиболее правильный ответ.* С помощью калипера можно оценить количество висцерального жира: а) если его объем не слишком велик; б) если его объем достаточно велик; в) нельзя оценить.
14	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Методом золотого стандарта для оценки жировой и безжировой массы человека является: а) антропометрия; б) биоимпеденсометрия; в) калиперометрия; г) калориметрия; д) гидроденситометрия.

15	*Выберите один наиболее правильный ответ.* Второе название подводного взвешивания: а) калиперометрия; б) гидрометрия; в) гидроденситометрия; г) калориметрия.
16	*Выберите один наиболее правильный ответ.* В основе биоимпедансного анализа состава тела лежит измерение: а) испускаемой телом теплоты; б) активного и реактивного сопротивления; в) рентгеновской прозрачности тканей; г) удельной плотности тканей.
17	*Выберите один наиболее правильный ответ.* При расчете параметров состава тела по биоимпедансу от активного сопротивления на частоте 5 кГц зависят значения: а) внеклеточной жидкости организма; б) жировой массы тела; в) безжировой массы тела; г) скелетно-мышечной массы тела; д) общей воды организма.
18	*Выберите один наиболее правильный ответ.* При биоимпедансной оценке параметров состава тела значения внутриклеточной жидкости рассчитываются как разность между: а) безжировой массой тела и общей жидкостью организма; б) жировой и безжировой массой тела; в) безжировой и скелетно-мышечной массой тела; г) общей и внеклеточной жидкостью.
19	*Выберите один наиболее правильный ответ.* При биоимпедансном расчете параметров состава тела общая вода организма зависит только от активного сопротивления на частоте: а) 5 кГц; б) 50 Гц; в) 50 кГц; г) 150 Гц; д) 150 кГц.

20 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

При биоимпедансном расчете параметров состава тела безжировая масса тела зависит только от активного сопротивления на частоте:

а) 5 кГц;

б) 50 Гц;

в) 50 кГц;

г) 150 Гц;

д) 150 кГц.

21 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

Верхняя граница значений фазового угла составляет:

а) 7,8;

б) 10,5;

в) 12,4;

г) 5,5;

д) 15,0.

22 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

Синяя зона шкал первичного протокола состава тела прибора «АВС-01 МЕДАСС» означает, что диапазон значений параметра:

а) в норме;

б) выше нормы;

в) вне зависимости от нормы;

г) ниже нормы.

23 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

Красная зона шкал первичного протокола состава тела прибора «АВС-01 МЕДАСС» означает, что диапазон значений параметра:

а) в норме;

б) выше нормы, указывает на плохое состояние организма;

в) вне зависимости от нормы;

г) ниже нормы;

д) выше нормы, указывает на хорошее состояние организма.

24 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

Зеленая зона шкал первичного протокола состава тела прибора «АВС-01 МЕДАСС» означает, что диапазон значений параметра:

а) в норме;

б) выше нормы, указывает на плохое состояние организма;

в) вне зависимости от нормы;

г) ниже нормы;

д) выше нормы, указывает на хорошее состояние организма.

25 *Выберите один наиболее правильный ответ.*

При формировании индивидуального коридора значений параметров, относительно которого в дальнейшем планируется оценка текущих изменений состава тела спортсмена, биоимпедансные исследования проводят:

а) ежедневно или через день;

б) два раза в день;

в) еженедельно;

г) два раза в месяц;

д) ежемесячно.

ТИП 2

1 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Какие значения фазового угла принято связывать с состоянием гиподинамии?

1. 7,8° < ФУ
2. 5,4° < ФУ < 7,8°
3. ФУ < 4,4°
4. 4,4° < ФУ < 5,4°

2 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Какие биоимпедансные оценки привносит полисегментная схема исследований?

1. Асимметрия внеклеточной жидкости рук
2. Фазовый угол обеих ног
3. Масса висцерального жира
4. Объем циркулирующей крови

3 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Доля не нуждающихся в получении диуретических препаратов среди госпитализированных с гипертонической болезнью составляет:

1. 50 %
2. 15 %
3. 10 %
4. 35 %.

4	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какие три компонента состава тела используются для характеристики физической работоспособности спортсмена? 1. ФУ 2. %ЖМТ 3. %СММ 4. СММ
5	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Биоимпедансометрическое исследование позволяет оценить: 1. Водные сектора организма 2. Концентрацию электролитов в плазме крови 3. Жировую массу тела 4. Массу костной ткани
6	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какая предварительная подготовка требуется при поведении биоимпедансного исследования? 1. Взвешивание и измерение роста 2. Контроль позы 3. Контроль влажности одежды 4. Трехдневное голодание
7	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Каковы наиболее распространенные источники ошибок при биоимпедансном измерении? 1. Металлические украшения на руках и ногах 2. Слишком близкое расположение стены 3. Влажная одежда 4. Металлические конструкции в костях конечностей

8	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какие области тела подвергаются измерению при стандартном (на запястье и голеностоп) наложении электродов? 1. Подэлектродная рука 2. Туловище 3. Подэлектродная нога 4. Все тело, исключая голову
9	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* На измерении каких параметров тела человека основано большинство расчетов идеального веса (например, формула Брока)? 1. Масса тела 2. Возраст 3. Длина предплечья от локтя до запястья 4. Рост
10	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какие компоненты состава тела можно оценить с помощью калиперометрии? 1. Жировую массу 2. Скелетно-мышечную массу 3. Безжировую массу 4. Активную клеточную массу
11	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какие компоненты состава тела можно оценить с помощью рентгеновской денситометрии? 1. Жировую массу 2. Безжировую массу 3. Минеральную массу 4. Скелетно-мышечную массу

12	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Какие компоненты состава тела можно оценить с помощью метода разведения индикаторов? 1. Общую воду организма 2. Внеклеточную воду 3. Внутриклеточную воду 4. Минеральную массу
13	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Классификацию биоимпедансных анализаторов принято осуществлять по следующим признакам: 1. По зонам биоимпедансных измерений 2. По используемому набору частот зондирующего тока 3. По тактике проведения измерений: однократно или в режиме мониторирования 4. По количеству накладываемых электродов.
14	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* По использованию частот зондирующего тока выделяют методы биоимпедансных исследований: 1. Одночастотные 2. Двухчастотные 3. Многочастотные 4. Низкочастотные
15	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* При расчете биоимпедансных параметров состава тела только от активного сопротивления на частоте 50 кГц зависят: 1. Общая вода организма 2. Безжировая масса 3. Жировая масса 4. Скелетно-мышечная масса

16 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

При биоимпедансном расчете параметров состава тела от активного и реактивного сопротивлений на частоте 50 кГц зависят:

1. Активная клеточная масса
2. Основной обмен
3. Удельный основной обмен
4. Фазовый угол

17 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

При расчете значений фазового угла используют значения:

1. Активного сопротивления на частоте 50 Гц
2. Активного сопротивления на частоте 50 кГц
3. Реактивного сопротивления на частоте 50 Гц
4. Реактивного сопротивления на частоте 50 кГц

18 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Абсолютные противопоказания к проведению биоимпедансного исследования:

1. Беременность
2. Лактация
3. Состояния крайней тяжести
4. Вживленный кардиостимулятор

19 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Доля жировой массы в общей массе тела используется в скрининговых исследованиях для определения:

1. Содержания жира в организме
2. Избыточного веса, ожирения, липодистрофии
3. Оценки риска метаболического синдрома
4. Характеристики достаточности питания

20 *Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.*

Безжировая масса тела используется в скрининговых исследованиях:

1. Для характеристики конституциональных особенностей
2. Диагностики ожирения
3. Выявления катаболических сдвигов
4. Выявления риска инвалидности у пожилых людей.

21	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* В спортивной медицине по динамике значений фазового угла определяют: 1. Эффективность режима тренировки 2. Перетренированность 3. Готовность спортсмена к соревнованиям 4. Конституциональные особенности
22	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Процедура полисегментных исследований отличается от процедуры интегральных исследований на приборе «АВС-01» тем, что: 1. Электроды накладывают на все четыре конечности 2. Дополнительно вводится длина окружности правого запястья 3. Дополнительно вводится значение гематокрита 4. Проводится стоя
23	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Полисегментное исследование на приборе «АВС-01» позволяет оценить состав следующих регионов: 1. Правая и левая нога 2. Правая и левая рука 3. Туловище 4. Голова
24	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* Полисегментный метод, в отличие от интегрального, обладает высокой чувствительностью в области: 1. Кистей рук 2. Стоп 3. Головы 4. Предплечий

25	*Ответьте по коду: А — верно 1, 2, 3; Б — верно 1, 3; В — верно 2, 4; Г — верно только 4; Д — все верно.* В период ежедневных значительных физических нагрузок проведение биоимпедансных исследований возможно: 1. Только перед сном 2. Непосредственно перед приемом пищи 3. Сразу после вечерней тренировки 4. Только перед завтраком

П3. Правильные ответы к тестовым заданиям

Табл. П3.1. Правильные ответы к тестовым заданиям типа 1

№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.
1	г	**6**	г	**11**	г	**16**	б	**21**	б
2	д	**7**	а	**12**	а	**17**	а	**22**	г
3	в	**8**	б	**13**	в	**18**	г	**23**	б
4	г	**9**	в	**14**	д	**19**	в	**24**	д
5	б	**10**	в	**15**	в	**20**	в	**25**	а

Табл. П3.2. Правильные ответы к тестовым заданиям типа 2

№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.	№	Отв.
1	Г	**6**	А	**11**	А	**16**	Д	**21**	А
2	Д	**7**	Д	**12**	А	**17**	В	**22**	А
3	А	**8**	А	**13**	А	**18**	Г	**23**	А
4	Г	**9**	Г	**14**	А	**19**	Д	**24**	Г
5	Б	**10**	Б	**15**	Д	**20**	Б	**25**	Г

П4. Список вопросов для контроля усвоения материала

1. Перечислите основные амбулаторные и клинические методы анализа состава тела, применяемые в настоящее время.
2. Что понимается под основными компонентами состава тела?
3. Дайте определение безжировой массы тела.
4. Дайте определение активной клеточной массы тела.
5. Каковы основные водные сектора организма?
6. Для чего используется индекс отношения талия/бедра?
7. Назовите биофизические субстраты активного и реактивного сопротивлений тела человека.
8. Перечислите основные ограничения и методические требования к процедуре биоимпедансных измерений.
9. Как и почему меняется биоимпедансная оценка жировой массы тела в условиях централизации кровообращения?
10. Сколько жира в организме человека может расщепиться за сутки?
11. Дайте характеристику нормальной половозрастной изменчивости биоимпедансных оценок основного обмена.
12. Как изменится биоимпедансная оценка жировой массы, если потенциальные электроды установить дистальнее или проксимальнее принятого анатомического маркера?
13. О чем свидетельствует расположение друг под другом маркеров ИМТ и ЖМТ в первичном протоколе?
14. Назовите типичные значения %АКМ, %СММ, %ЖМТ и фазового угла у спортсменов высокой квалификации.
15. Каковы критерии выраженной задержки жидкости в организме и обезвоживания по данным биоимпедансного анализа?
16. Какова типичная скорость снижения ЖМТ в процедуре коррекции фигуры при правильно подобранной физической нагрузке?
17. Какие компоненты состава тела будут оценены неверно, если пациент во время измерений коснется стены или металлического остова кушетки?
18. Опишите изменения основных параметров состава тела при правильно выбранной диетологической поддержке.
19. Как проявляется в оценках состава тела обрыв электродного кабеля?
20. Каким категориям пациентов не показано проведение биоимпедансного анализа состава тела?

21. Назовите области применения биоимпедансного анализа состава тела.
22. Какие выводы можно сделать, сравнивая измеренные значения фазового угла с клиническими нормами? Популяционными нормами?
23. Можно ли по данным первичного протокола состава тела обнаружить сдвиги водно-солевого баланса?
24. Укажите причины завышения биоимпедансной оценки жировой массы на втором и третьем триместрах беременности.
25. Назовите три параметра биоимпедансного анализа состава тела, используемых в спортивной медицине для оценки предстартовой готовности спортсмена.
26. Опишите способы оценки посттравматического отека коленного сустава с помощью интегральной и полисегментной программ биоимпедансного анализа состава тела.
27. Назовите критерии, которыми руководствуются при определении степени влияния на точность биоимпедансного исследования металлических украшений на теле обследуемого.
28. В каких случаях при проведении биоимпедансных измерений требуется предварительная обработка кожи в местах установки электродов?
29. Почему в биоимпедансных исследованиях не применяются точечные одноразовые ЭКГ-электроды?
30. Для каких целей в биоимпедансном анализе применяют центильные представления получаемых результатов?

Учебное пособие

Николаев Д.В., Щелыкалина С.П.

ЛЕКЦИИ ПО БИОИМПЕДАНСНОМУ АНАЛИЗУ СОСТАВА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Компьютерный набор и вёрстка выполнены авторами

ИД №01267 от 20.03.2000 г.
РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ
127254, г. Москва, ул. Добролюбова, д. 11

Подписано в печать 02.08.2016
Формат 84×108/32. Гарнитура Times
Печать трафаретная
Усл. печ. л. 6,33. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии РИО
ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава РФ
127254, г. Москва, ул. Добролюбова, д. 11

Аннотация для 4-й страницы обложки

В учебном пособии дается общее представление о физических основах, областях применения биоимпедансного анализа состава тела, возможностях биоимпедансного оборудования. Большое внимание уделено описанию и интерпретации индивидуальных и групповых протоколов биоимпедансного исследования. Приводятся результаты обработки данных профилактического скрининга населения в центрах здоровья.

Пособие будет полезным диетологам, эндокринологам, спортивным врачам, гастроэнтерологам, терапевтам и врачам смежных специальностей