

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Факультет «Электроника и автоматика»
Кафедра «Приборостроение»

На правах рукописи

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
для получения степени бакалавра
по направлению 5521500 «Приборостроение»

Алимов Жавлон

Тема «Исследование анализатора водных средств организма»

Заведующий кафедры: доц. С.А. Васильева

Руководитель доц. Б.Б. Гаибназаров

Ташкент - 2014

АННОТАЦИЯ

Квалификационная выпускная работа состоит из введения, обзорной и основной частей.

Во введении представляются сведения о значении аппаратов – анализаторов водных сред организма в исследовании интегральной оценки состава тела человека, показана эффективность направления и обосновывается актуальность темы выпускной работы.

В обзорной части приводятся данные о классификации методов биоимпедансного анализа состава тела и освещаются его биофизические основы.

В основной части исследуются непосредственно анализаторы водных сред организма. Подробно представлены описание существующих моделей состава тела – двух-, трёх- и четырёхкомпонентной и методика изучения состава тела с использованием биоимпедансного подхода. Весы-анализатор состава тела рассматриваются с позиций многофункциональности устройства.

В результате выполненной работы исследованы и показана перспективность дальнейших исследований в данном направлении.

Содержание

Стр.

Введение.	
1. Обзор современного состояния и развития методики для интегральной оценки состава тела.	
1.1. История и классификация методов биоимпедансного анализа состава тела.	
1.2. Биофизические основы биоимпедансного анализа для оценки состава тела.	
1.3. Методика исследования.	
2. Основная часть. Исследование анализатора водных сред организма.	
2.1. Модели состава тела.	
2.2. Методы изучения состава тела.	
2.3. Весы анализатор состава тела.	
2.3.1. Основные показатели состава тела.	
2.3.2. Функционирование анализатора состава тела.	
2.4. Биоимпедансметр для анализа внутренних сред организма АВС-01 Медасс.	
4. Экономическая часть	
5. Безопасность жизнедеятельности.	
Заключение.	
Список литературы.	

Введение

К числу наиболее быстро развивающихся разделов морфологии человека относится количественное изучение состава тела *in vivo*. За последние годы эта область биомедицинских исследований выделилась в отдельное научное направление, получившее название науки о составе тела. Современный этап развития науки о составе тела характеризуется увеличением роли новых технологий и методов исследования [1].

Наряду с традиционно используемыми для оценки состава тела методами антропометрии, калиперометрии и подводного взвешивания, получили развитие биофизические методы, самым распространённым из которых является биоимпедансный анализ (БИА) – оперативный, неинвазивный и достаточно надёжный метод, используемый в клинических, амбулаторных и домашних условиях.

Роль воды для организма человека очень велика, хотя бы потому, что все метаболические процессы происходят в водной среде. В среднем общий объём воды в теле человека должен находиться в диапазонах: для женщины 45 – 60%, для мужчины 50 – 65%. Сохранение здорового уровня содержания воды в организме свидетельствует, что организм функционирует эффективно [2].

Изучение состава тела человека *in vivo* имеет большое клиническое значение. Несмотря на то, что изучением состава тела занимаются уже более ста лет, исследования в данной области активно продолжаются. За последние 30 лет значительно возросло число публикаций как в области методологии анализа состава тела, так и в области его клинического применения. Существует большое количество методов для определения состава тела

человека на различных уровнях: антропометрия, волюминометрия, воздушная плетизмография, биоимпедансный анализ, метод общей электрической проводимости, нейтронный активационный анализ и методы лучевой визуализации.

Стремительный прогресс в области лучевых исследований привёл к широкому внедрению новых методов анализа состава тела в клиническую практику. В настоящее время наиболее распространёнными методами лучевой диагностики для оценки структуры тела являются двух-энергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) (dual energy X-ray absorptiometry - DXA), рентгеновская компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Разница в ослаблении рентгеновского излучения тканями и различные характеристики их МР-сигнала позволяют дифференцировать на изображениях жировую ткань и другие мягкие ткани, а также измерять их площади - на одном изображении и объёмы - на сериях изображений [3].

Точность измерения каждой из тканей зависит от степени контрастности тканей на изображении и пространственного разрешения метода. Сам термин «состав тела» подразумевает, что тело может быть разделено на несколько компонентов. Традиционно используются двух-, трёх- и четырехкомпонентная модели, а также пятиуровневая многокомпонентная модель. В этой модели были определены пять уровней организации тела: элементарный, молекулярный, клеточный, тканевый (функциональный) и уровень организма в целом. При ДРА анализ состава тела проводят на молекулярном уровне. Компонентами данного уровня являются вода, липиды, безжировая масса, белки, углеводы и минеральные вещества. Двух-энергетическая рентгеновская абсорбциометрия считается эталоном в измерении таких компонентов молекулярного уровня, как липиды (жировая масса) и безжировая масса.

Наиболее распространенные методы оценки состава тела - это калиперометрия и биоимпедансный анализ. Калиперометрия основана на

измерении толщины кожно-жировых складок на разных участках тела (чаще от двух до восьми) специальными устройствами - калиперами (рис. 4). Стандартная ошибка оценки жировой массы при повторных измерениях одного и того же индивида не должна превышать 5%. Некоторые калиперы снабжены микропроцессором, что дает значительную экономию времени при проведении масштабных полевых исследований. Формулы для оценки состава тела специфичны для конкретных популяций. На сегодняшний день имеется свыше 100 формул для оценки жировой, безжировой и мышечной массы.

Биоимпедансный анализ – это контактный метод измерения электрической проводимости тела, позволяющий оценивать объемы клеточной и внеклеточной жидкости, а также жировую, безжировую, клеточную и мышечную массу тела. В качестве эталона для оценки объемов водных секторов и клеточной массы тела используют методы разведения определения естественной радиоактивности всего тела, а для других компонент состава тела - подводное взвешивание, двухэнергетическую рентгеновскую денситометрию, магнитно-резонансную томографию и др.

Биоимпедансный анализ применяется для мониторинга изменений состава тела в бодибилдинге, фитнесе, спортивной и клинической медицине. Стандартная погрешность оценки % ЖМТ в сравнении с ГД составляет 3-6%. Наилучшую точность обеспечивают измерения импеданса тела со стандартной схемой наложения электродов на голень и запястье. В России такие приборы производит НТЦ Медасс (г. Москва). Выпускается оборудование для измерения импеданса рук (American Weights and Measures, США, Omron, Япония) и ног (Tanita, Япония), однако точность получаемых оценок состава тела, как правило, более низкая.

Для оценки жировой массы тела был предложен метод инфракрасного отражения. Портативные устройства в виде источника инфракрасного излучения, снабженного световодом, принимающим детектором и микропроцессором, выпускает компания Futrex (США). % ЖМТ оценивается

автоматически по характеристикам отраженного излучения в участке доминантного бицепса. Точность метода ниже, чем в случае калиперометрии и биоимпедансного анализа, поэтому его использование ограничено.

Совершенствование технологий и методов определения состава тела человека с учетом потребностей клинической медицины, экстремальной профессиональной и спортивной деятельности позволит повысить эффективность решения клинических задач, коррекционных и профилактических мероприятий и в целом - эффективность контроля и управления состоянием здоровья человека.

1. Обзор современного состояния и развития методики для интегральной оценки состава тела

1.1. История и классификация методов биоимпедансного анализа состава тела

Начало применения биоимпедансного анализа для изучения состава тела человека связывают с работами французского анестезиолога А. Томассета, выполненными в начале 1960-х годов [4]. Метод основан на измерении импеданса всего тела или отдельных сегментов тела (Z) с использованием специальных приборов – биоимпедансных анализаторов. Величина импеданса имеет две компоненты – активное (R) и реактивное сопротивление (X_c), которые связаны следующим соотношением:

$$Z^2 = R^2 + X_c^2.$$

Субстратом активного сопротивления R в биологическом объекте являются жидкости (как вне-, так и внутриклеточные), обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления X_c (диэлектрический компонент импеданса) являются клеточные мембраны. По величине активного сопротивления рассчитывается общее содержание воды в организме (ОВО), высокая удельная проводимость которой обусловлена наличием в ней электролитов. Электрическое сопротивление жировой ткани примерно в 20 раз выше, чем основной массы тканей, составляющих безжировую массу тела (БМТ). Так как гидратация безжировой массы составляет в норме около 73%, то безжировая масса

может быть оценена как

$$\text{БМТ} = \text{ОВО} / 0,73.$$

Показано наличие высокой корреляции между величиной импеданса и величинами ОВО, БМТ и жировой массы тела (ЖМТ), и построены регрессионные зависимости, связывающие эти величины с параметрами импеданса. Систематизированы 55 формул для оценки показателей состава тела биоимпедансным методом: 18 для расчета ОВО, 29 для БМТ, 8 для %ЖМТ. В указанной работе сообщалось, что точность 1 приведенных оценок составляет 0,9-1,8 кг для ОВО и 2,5-3,5% для ЖМТ.

По величине реактивной составляющей импеданса рассчитываются величины основного обмена (ОО) и активной клеточной массы (АКМ) – массы мышц и внутренних органов.

Имеется несколько разновидностей биоимпедансного анализа, которые классифицируют по следующим признакам: по частоте зондирования (одно-, двух-, многочастотные), по участкам измерений (локальные, региональные, интегральные, полисегментные), по тактике измерений (однократные, эпизодические, мониторинговые).

В данном методическом пособии рассматривается лишь одна наиболее часто используемая и полно верифицированная разновидность биоимпедансного анализа – одночастотные интегральные эпизодические измерения с расположением электродов на щиколотке и запястье с зондирующим током на частоте 50кГц. Около 90% всех измерений методом биоимпедансного анализа в мировой практике производятся именно таким способом.

1.2. Биофизические основы

Биоимпедансный анализ состава тела основывается на различиях

электропроводности составляющих его тканей ввиду различного содержания в них жидкости и электролитов (табл. 1).

Таблица 1

Типичные значения удельного электрического сопротивления некоторых биологических тканей

Биологическая ткань	Удельное сопротивление, Ом × м
Кровь	1,5
Спинномозговая жидкость	0,65
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

Использование биоимпедансного анализа для оценки состава тела основано на устойчивом соотношении между содержанием воды в организме и безжировой массой тела [4]. Результаты биоимпедансного анализа зависят от некоторого набора допущений относительно электрических свойств тела, его состава, гидратации, и плотности, а также возраста, пола, расовой принадлежности и физического состояния обследуемого.

Термин «биоэлектрический импеданс» стал общепринятым в зарубежных публикациях второй половины 20 века для характеристики электрических свойств биологических объектов, имеющих клеточную структуру. Импеданс измеряется при пропускании через биологический объект переменного тока в соответствии с законом Ома:

$$Z = U / I,$$

где U – разность потенциалов, I – сила тока.

Импеданс имеет размерность [Ом].

Первая электрическая модель клетки была предложена Фрике, который описал и объяснил зависимость импеданса от частоты тока (рис. 1). В области низких частот 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. 1 видно, что при изменении частоты тока меняется угол между векторами импеданса и активного сопротивления. Он имеет название фазового угла, и определяется как арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений: $\varphi = \text{arctg}(X_c/R)$.

Для практического применения биоимпедансного метода к задачам оценки состава тела существенной является взаимосвязь геометрической формы исследуемого объекта и величины импеданса биологического объекта: величина импеданса пропорциональна длине измеряемого участка тканей и обратно пропорциональна площади его поперечного сечения.

Для однородного изотропного проводника постоянного сечения, поперечные размеры которого много меньше его длины, справедливы следующие соотношения:

$$V = L \times S, R = \rho \times L / S,$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, L – длина, S – площадь поперечного сечения, а V – объем проводника. Если выразить S из второго соотношения и подставить в первое, то получим

$$V = \rho L^2/R.$$

В биоимпедансных анализаторах используется зондирующий ток очень низкой, безопасной амплитуды, что обеспечивает возможность не ограничивать количество и длительность повторных измерений.

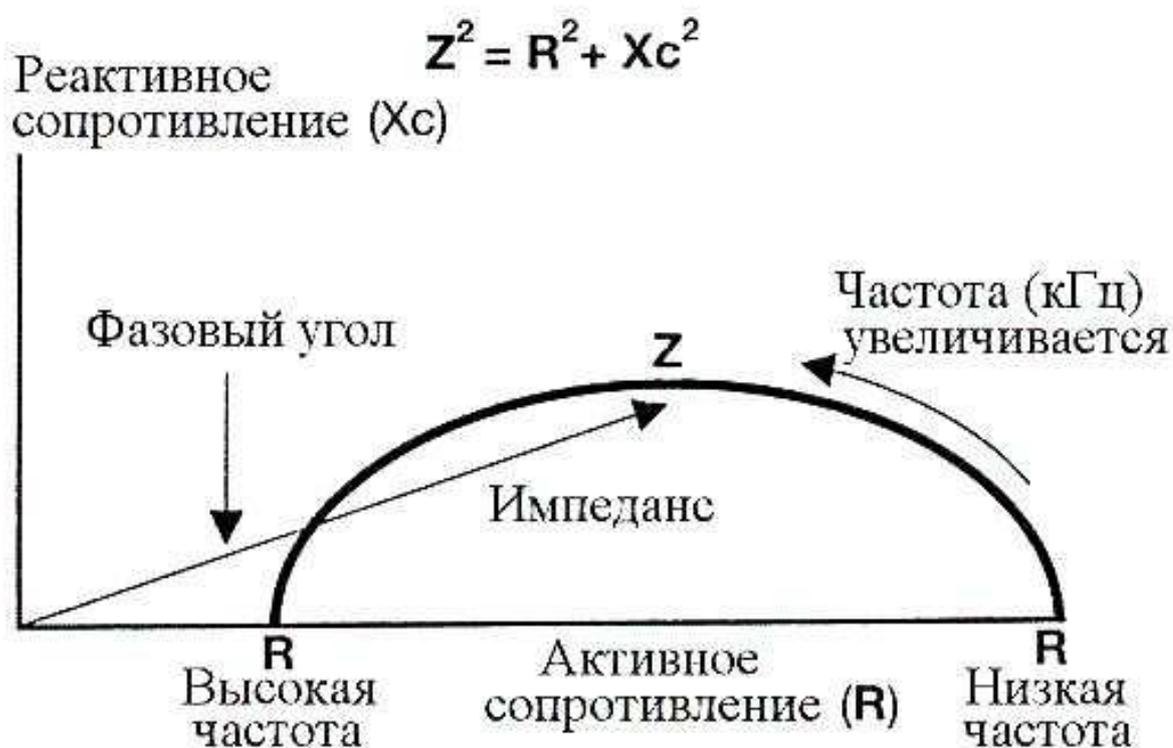


Рис. 1. Зависимость величины импеданса от частоты зондирующего тока.

Реактивное сопротивление и фазовый угол также характеризуют свойства биологических тканей. Исследования показали взаимосвязь X_c и фазового угла с параметрами физиологического состояния и режима питания пациентов. Удельное сопротивление в выражении $\rho L^2/R$ принято постоянным для тела в целом; однако, каждая ткань имеет свое удельное сопротивление, и наблюдаемое удельное сопротивление для тела в целом или его сегмента – среднее удельное сопротивление всех проводящих тканей.

1.3. Методика исследования

Оборудование, необходимое для биоимпедансных исследований, включает биоимпедансный анализатор, подключенный к персональному компьютеру с установленным на нем специальным программным обеспечением; кушетку шириной не менее 85-90 см (для обеспечения возможности обследования тучных пациентов); ростомер; весы с диапазоном измерений до 150-180 кг и ценой деления 0,1 кг; мерную ленту для измерения обхватов талии и бедер.

Кушетку устанавливают так, чтобы электродный кабель прибора без натяжения дотягивался до мест наложения электродов на голеностопе и запястье, а расстояние между боковой частью кушетки и окружающими предметами составляло не менее 10 см. Во время обследования температура в помещении должна быть 22-25°C. Принято считать, что обследование выполнено корректно, если: временной интервал после последнего приема пищи составляет не менее 2,5-3 часов, а после употребления алкоголя – 36-48 часов; в холодное и жаркое время года пациент перед процедурой измерений

пробыл в помещении для обследования время, достаточное для температурной адаптации; отсутствуют воспалительные заболевания, периоды менструаций; нежелательно проведение измерений у пациентов с имплантированными кардиостимуляторами.

Процедура обследования начинается с антропометрических измерений. Определяют длину, массу тела, обхваты талии и бедер. Затем в компьютерной программе заводится учетная запись (регистрация) пациента с указанием ФИО, пола, даты рождения и длины тела. В карточку текущего обследования вносятся сведения о массе тела и обхватах талии и бедер. Пациент укладывается на кушетку в положении лежа на спине (рис. 2) правой стороной тела к биоимпедансному анализатору. Правая рука освобождается от металлических предметов (часов, браслетов и т.п.). Металлические предметы на шее пациента сдвигаются к подбородку. Одежда пациента должна быть сухой и свободной, не изменяющей конфигурации поверхностных тканей.

У тучных пациентов особое внимание следует уделить обеспечению отсутствия контакта между внутренними поверхностями бедер до паха и между внутренними поверхностями рук и торсом до подмышечных впадин. На руке: середина первого электрода крепится над сочленением костей предплечья и кисти, а другой располагается на 3-4 см дистальнее; на ноге – один серединой над сочленением костей голени и стопы, другой дистальнее на 3-5 см. Зажимы электродного кабеля крепятся к свободным от проводящего геля концам электродов, красные – к дистальным, черные – к проксимальным электродам. Дистальные электроды служат для подключения к пациенту цепи пропускания зондирующего тока, проксимальные – для подключения измерительной цепи анализатора.

Измерение выполняется в течение 20-40 с и считается завершенным, если в последние 4-5 с значения величин активного и реактивного сопротивлений менялись не более чем на 2 единицы последней значащей цифры. Если это условие не выполняется, то необходимо проверить

крепление электродов на коже пациента или предупредить его о необходимости сохранения неподвижного положения во время измерительной процедуры. Одноразовые биоадгезивные электроды с контактной площадкой 22'24 мм устанавливаются так, как показано на рис. 3.



Рис. 2. Положение пациента при обследовании.



Рис. 3. Расположение электродов на руках и на ногах.

2. Основная часть. Исследование анализатора водных сред организма

2.1. Модели состава тела

Удобным средством организации знаний о составе тела служат модели состава тела. В зависимости от целей и задач исследования принято рассматривать двух-, трех-, четырех- и многокомпонентные модели [5].

В классической двухкомпонентной модели состава тела (рис. 2) масса тела (МТ) представлена в виде суммы двух составляющих: жира вой (ЖМТ) и безжировой массы тела (БМТ):

$$МТ = ЖМТ + БМТ.$$

Под ЖМТ понимается масса всех липидов в организме. Это наиболее лабильная компонента массы тела, ее содержание может меняться в широких пределах. В норме ЖМТ у мужчин составляет около 15% массы тела, а у больных ожирением этот показатель увеличен более чем вдвое.

Согласно чаще используемой при изучении состава тела анатомической классификации различают существенный жир, входящий в состав белково-липидного комплекса клеток организма (например, фосфолипиды клеточных

мембран), и несущественный жир (триглицериды) жировых тканей. Существенный жир необходим для нормальной жизнедеятельности органов и тканей. У мужчин относительное содержание существенного жира в организме ниже, чем у женщин. Считается, что оно весьма стабильно и составляет для разных людей от 2 до 5% безжировой массы.

Несущественный жир образует основной запас метаболической энергии и выполняет функцию термоизоляции внутренних органов. Открытие в 1993 г. гена ожирения и продуцируемого адипоцитами молекулярного фактора лептина положило начало активному изучению жировой ткани как метаболически активного органа.

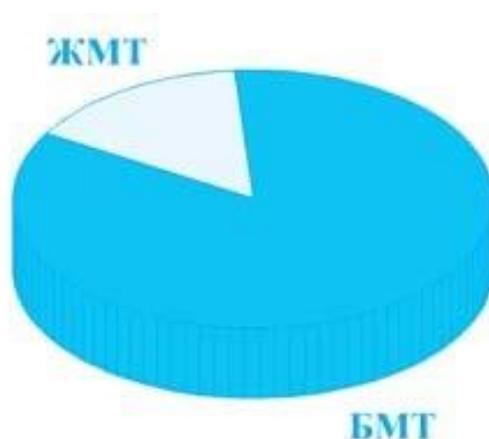


Рис. 2. Классическая двухкомпонентная модель состава тела.

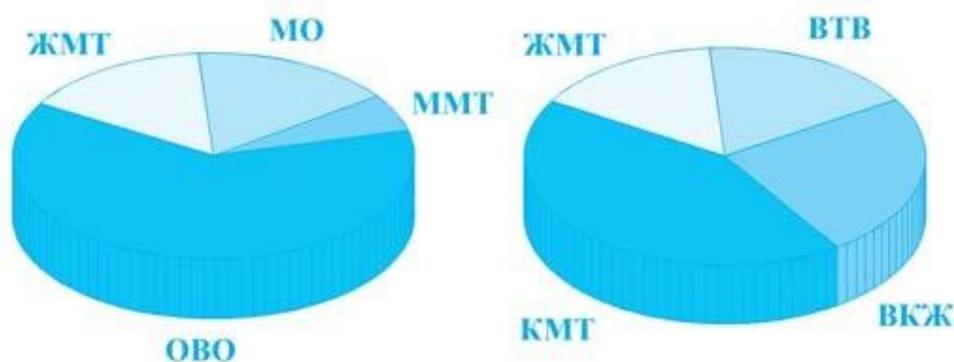


Рис. 3. Четырехкомпонентные модели состава тела.

На диаграмме слева масса тела представлена в виде суммы ЖМТ, общей воды организма (ОВО), минеральной массы тела (ММТ) и массы остатка (МО); на диаграмме справа – как сумма ЖМТ, клеточной массы тела (КМТ), массы внеклеточной жидкости (ВКЖ) и массы внеклеточных твердых веществ (ВТВ). Размеры секторов на рисунке соответствуют данным по условному человеку.

Несущественный жир состоит из подкожного и внутреннего жира. Подкожный жир распределен относительно равномерно вдоль поверхности тела. Внутренний (висцеральный) жир сосредоточен главным образом в брюшной полости.

Установлено, что риск развития сердечно сосудистых и других заболеваний, связанных с избыточной массой тела, выше при содержании внутреннего, а не подкожного жира. Иногда используется понятие абдоминального жира, под которым понимается совокупность внутреннего и под кожного жира, локализованных в области живота.

Масса тела, свободного от жира, т.е. липидов, имеет название безжировой массы тела (БМТ). БМТ состоит из воды, мышечной массы, массы скелета и других составляющих.

2.2. Методы изучения состава тела

Эталонные методы изучения состава тела в двух компонентной модели базируются на оценке плотности тела. К ним относятся гидростатическая денситометрия и воздушная плетизмография.

Метод гидростатической денситометрии (ГД) заключается в измерении веса тела в воде и в обычных условиях, а так же остаточного объема легких с последующей оценкой плотности тела (ПТ) по формуле:

$$ПТ = Вт / [(Вт - Втв) / Пв - (ООЛ - 0,1)],$$

где Вт - обычный вес тела, Втв - вес тела в воде, Пв - плотность воды, а ООЛ - остаточный объем легких. Процентное содержание жира (%ЖМТ) вычисляется по формулам, специфичным для пола и возраста (табл. 1).

Таблица 1

Формулы для оценки процентного содержания жировой массы тела

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

Погрешность оценки жировой массы при повторных измерениях, выполненных одним и тем же специалистом, составляет 2,5%. Неудобство метода ГД связано с большой длительностью процедуры измерений (до 1 ч) и необходимостью полного погружения в воду, что значительно снижает возможности применения метода у детей, а также у пожилых и больных людей. Указанных недостатков лишен недавно предложенный метод воздушной плетизмографии (ВП).

Измерения проводят в герметичной кабине, заполненной обычным воздухом (рис. 4). Устройство разработано компанией Life Measurement Instruments (США) в 1994 г. Воспроизводимость результатов измерений по сравнению с ГД более высокая, а стандартная ошибка оценки %ЖМТ составляет около 0,3%. Процедура измерений занимает 5-7 мин. Основная погрешность методов ГД и ВП связана с предположением о постоянстве плотности БМТ у разных индивидов. Для повышения точности их иногда используют в сочетании с другими методами, дающими дополнительную информацию о состоянии белкового, водного и/или минерального обмена.

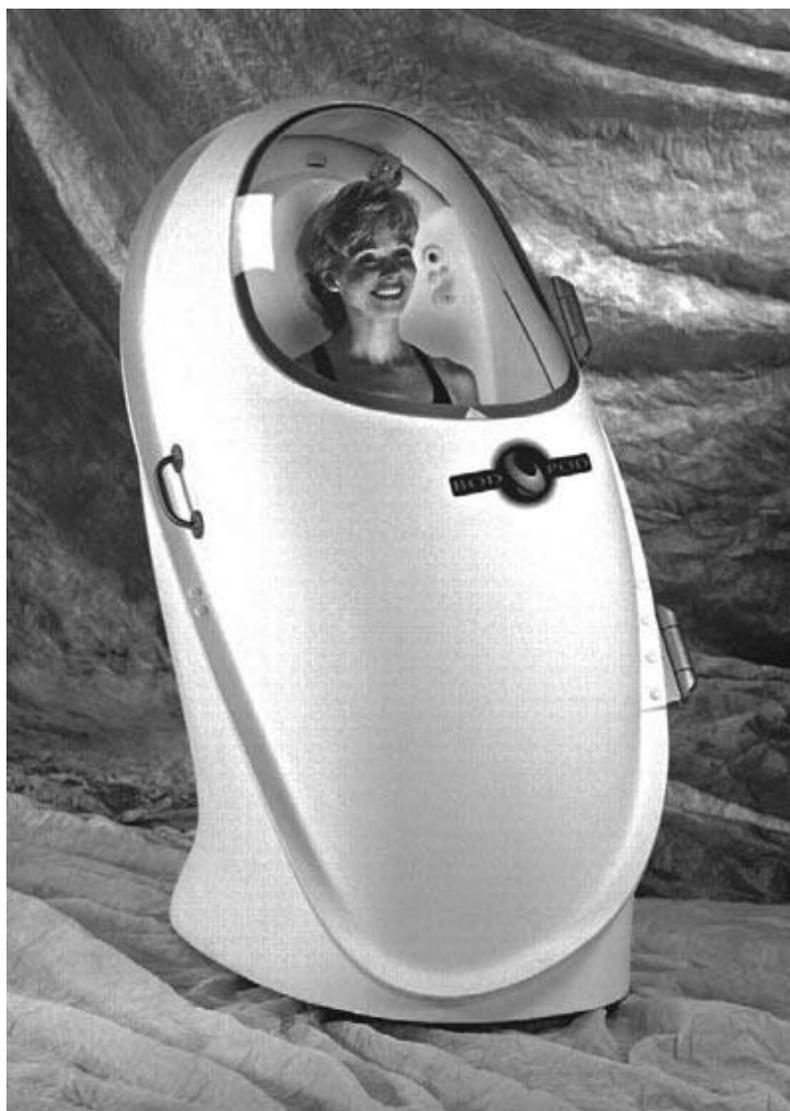


Рис. 4. Устройство Bod Pod (Life Measurement Instruments, США).
Момент измерений.

Рассмотренная двухкомпонентная модель характеризует молекулярный состав тела. Физиологическая интерпретация получаемых результатов в этом случае затруднена ввиду неоднородности молекулярного состава липидов и безжировой массы. С учетом этого американский врач А. Бенке ввел понятие тощей массы тела (lean body mass) как суммы БМТ и массы существенного

жира и предложил рассматривать следующую двухкомпонентную модель:

$$MT = MNЖ + TMT,$$

где MNЖ - масса несущественного жира, а TMT - тощая масса тела.

Ввиду неопределенности, связанной с оценкой массы существенного жира, понятие тощей массы оказалось малопригодным для изучения состава тела и впоследствии нередко ошибочно использовалось в качестве синонима термина "безжировая масса" (fat free mass). В 1981 г. на совместном заседании объединенной комиссии ВОЗ, ООН и Организации по вопросам питания и сельского хозяйства было решено использовать понятие "тощая масса тела" в качестве эквивалента термина "безжировая масса тела" для обозначения массы тела без жира.

Ввиду значительной вариации состава и плотности БМТ двухкомпонентная модель малопригодна для мониторинга изменений состава тела на индивидуальном уровне, за исключением предварительной диагностики и оценки эффективности лечения выраженного истощения или ожирения. Для повышения точности оценки состава тела предложены трех и четырехкомпонентные модели (рис. 3). Типичная формула для оценки %ЖМТ на основе четырехкомпонентной модели имеет вид:

$$\%ЖМТ = [2,747 / Пт - 0,7175 \cdot x (ОВО / МТ) + 1,148 \cdot x (ММТ / МТ) - 2,050] \cdot 100.$$

Эталонными методами оценки ОВО и ММТ являются методы изотопного разведения дейтерия, трития или $H^{218}O$, и двухэнергетическая рентгеновская денситометрия, основанная на принципах взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.

Имеются устройства для оценки периферического и осевого скелета. Продолжительность обследования составляет около 5 мин, а суммарная доза

радиации не превышает 30 мР, что эквивалентно дозе, получаемой при многочасовом авиаперелете. Погрешность оценки минеральной массы костей составляет 1 - 2%. Помимо оценки состава тела рентгеновская костная денситометрия является надежным средством профилактики травматизации опорно-двигательного аппарата и используется для диагностики остеопороза. Ведущие производители рентгеновских денситометров – компании Hologic, Lunar и Norland (США). Альтернативой является ультразвуковое исследование пяточной кости.

В России популярна другая четырехкомпонентная модель, предложенная в начале XX в. чешским антропологом Й. Матейкой:

$$MT = ПЖТ + СММ + СМ + МО,$$

где ПЖТ - масса подкожного жирового слоя вместе с кожей, СММ - масса скелетных мышц, СМ - масса скелета, а МО - масса остатка. Состав тела рассматривается здесь на тканевом уровне. На основе патологоанатомических данных Матейка предложил следующие антропометрические формулы для оценки ПЖТ, СММ, СМ и МО:

$$ПЖТ (г) = 0,065 \cdot x (d/6) \cdot S,$$

$$СММ (г) = 6,5 \cdot x r^2 \cdot ДТ,$$

$$СМ (г) = 1,2 \cdot x Q^2 \cdot ДТ,$$

$$МО (г) = 0,206 \cdot x МТ,$$

где МТ - масса тела (в граммах), d - суммарная толщина 6 кожно-жировых складок (мм), S - площадь поверхности тела (см²), r - средний радиус плеча, предплечья, бедра и голени (см), Q - средний диаметр дистальных частей плеча, предплечья, бедра и голени (см), а ДТ - длина тела (см).

Таблица 2

Пятиуровневая многокомпонентная модель

Уровень организации	Компоненты
1. Элементный	О, С, Н, N, Са, Р, S, К, Na, Mg,...
2. Молекулярный	Вода, липиды (триглицериды, фосфолипиды), безжировая масса, белки, углеводы, минеральные вещества, ...
3. Клеточный	Клетки, внеклеточная жидкость, клеточная жидкость, клеточная масса тела, внеклеточные твёрдые вещества,...
4. Тканевой	Скелетные мышцы, жировая ткань (подкожная, внутренняя), костная ткань, кровь, остальные органы и ткани
5. Организм целом	Голова, шея, туловище, конечности

Многокомпонентные модели классифицируют не по числу составных компонент МТ, а по признаку их принадлежности к одному из пяти уровней организации биологической системы, от элементного до уровня организма в целом (табл. 2). Рассмотрим их подробнее.

Элементный уровень. В организме человека обнаружено около 50 химических элементов, многие из них выполняют важные биологические функции. Наиболее часто встречаются кислород, углерод, водород и азот, в сумме образуя около 95% массы тела. Эталонным методом прижизненной оценки элементного состава тела (до 40 химических элементов, включая микроэлементы) является нейтронный активационный анализ, в ходе которого тело человека облучают потоком нейтронов, а элементный состав оценивают по спектральным характеристикам индуцированного гамма излучения, регистрируемого при помощи счетчика излучения человека.

Стандартная ошибка оценки содержания различных химических элементов в организме составляет 3-5%, что соответствует погрешности классических методов весовой химии. В связи с малой распространенностью

оборудования применение метода сильно ограничено. Содержание калия можно также оценить, измерив величину естественной радиоактивности всего тела. Данный метод используется для оценки клеточной массы тела и представляет интерес для изучения болезней, связанных с нарушением баланса жидкостей в организме и эндокринными сдвигами. Для оценки содержания ряда химических элементов применяют методы разведения. Другая возможность связана с анализом образцов биологических жидкостей и тканей [6].

Наиболее устойчивые соотношения между содержанием в организме различных химических элементов обычно наблюдаются для таких элементов, которые образуют естественные химические соединения. Это так называемые инварианты состава тела. Например, свыше 99% кальция в организме находится в костной ткани в виде соединения $[Ca_3(PO_4)_2]_3Ca(OH)_2$, имеющего название гидроксиапатит кальция. Поэтому измерение кальция даёт надёжную оценку минеральной массы костей. Инварианты состава тела играют важную роль в разработке эталонных методов оценки состава тела [7].

Соотношения между элементами, не образующими химических соединений, могут значительно изменяться при заболеваниях. Например, нарушение водно-электролитного баланса приводит к существенному изменению концентрации калия в клеточной жидкости. Поэтому при нарушениях водного обмена (почечная недостаточность, ВИЧ инфекция и т.п.) для оценки объема клеточной жидкости и клеточной массы тела не рекомендуется использовать методы, основанные на измерении содержания калия.

Молекулярный состав тела представлен водой, липидами, безжировой массой, белками, углеводами и минеральными веществами. Иногда рассматриваются такие составляющие, как триглицериды и фосфолипиды жировой массы.

Основу биологических жидкостей составляет вода с растворёнными в

ней электролитами. Ключевая функция жидких сред организма - транспорт и обмен веществ. Два основных водных сектора – это клеточная и внеклеточная жидкость. Внеклеточная жидкость состоит из плазмы крови, лимфы и интерстициальной жидкости. При делении жидкой фракции тела на клеточную и внеклеточную к последней также относят внутриглазную, синовиальную и спинномозговую жидкость.

Организм человека содержит множество белковых соединений. В настоящее время возможна количественная оценка общего содержания белков, а так же их мышечной и немusшечной фракций.

Углеводы представлены главным образом гликогеном, который содержится в клетках мышц и печени. Общая масса гликогена у взрослого человека примерно равна 1 кг. Данные о содержании гликогена в различных тканях организма получены путем биопсии. Недавнее появление магнитно резонансной спектроскопии дало возможность неинвазивной оценки содержания углеводов.

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

В двух-, трех- и четырехкомпонентных моделях состава тела молекулярного уровня обычно предполагается постоянство плотности тела или гидратации безжировой массы. В зависимости от целей и задач исследования эталонными методами молекулярного уровня служат ГД, методы разведения индикаторов и двухэнергетическая рентгеновская денситометрия, а также их сочетания, используемые в трех и четырех компонентных моделях.

Клеточный уровень строения тела характеризуется содержанием клеток разных типов, объемом водных секторов и массой внеклеточных твердых веществ. Большое значение здесь имеет показатель клеточной массы тела (КМТ), или активной клеточной массы. Понятие КМТ было введено для характеристики клеток организма, которые потребляют основную часть кислорода и энергии, выделяют основную часть углекислого газа и

производят метаболическую работу. 98 - 99% общего калия содержится в КМТ. КМТ состоит из клеток печени, почек, сердца, скелетной и гладкой мускулатуры, нервной, паренхиматозной и других тканей, содержащих калий в такой же концентрации.

Понятие КМТ объединяет компоненты состава тела, подверженные наибольшим изменениям под действием питания, болезней и физических нагрузок. Оно не включает клетки соединительной ткани, костей скелета и черепа и других тканей с низкой скоростью обменных процессов. Остаток содержит около 2% общего калия и обычно рассматривается как сумма внеклеточной жидкости (ВКЖ) и внеклеточных твёрдых веществ (ВТВ). Эталонные оценки объема внеклеточной жидкости полу чают методами разведения бромистого и хлористого натрия.

Тканевый уровень представлен скелетно-мышечной, жировой, костной тканями и внутренними органами. Эталоном для оценки состава тела здесь являются рентгеновская компьютерная и магнитно резонансная томографии, позволяющие получать объёмную реконструкцию тела человека. Масса тканей и органов оценивается на основе измерения объёма. Часто при заболеваниях химический состав тканей меняется даже при относительном постоянстве их объёма, а содержание липидов варьируется в зависимости от процентного содержания жира в организме и других факторов. Это служит препятствием для прямого сопоставления моделей тканевого и молекулярного уровней. Преимущество компьютерной томографии перед другими методами заключается в возможности отдельной оценки содержания подкожного и остального жира.

Для характеристики организма в целом используются антропометрия, подводное взвешивание, волюминометрия, воздушная плетизмография и фотонное сканирование.

В табл. 3 дана характеристика некоторых взаимосвязей различных уровней многокомпонентной модели. В гибридных моделях измеряемые показатели относятся к разным уровням строения тела.

Взаимосвязи различных уровней многокомпонентной модели состава тела (все величины измеряются в килограммах)

$$M_c = 0,774 \times ЖМТ$$

$$M_c = 0,759 \times ЖМТ + 0,532 \times \text{Белок} + 0,018 \times \text{ММК}$$

$$M_{Ca} = 0,340 \times \text{ММК}$$

$$M_k = 0,00469 \times \text{КМТ}$$

$$M_k = 0,00266 \times \text{БМТ}$$

$$M_n = 0,161 \times \text{Белок}$$

$$M_P = 0,456 \times M_{Ca} + 0,555 \times M_k$$

$$M_s = 0,062 \times MN$$

$$M_s = 0,010 \times \text{Белок}$$

$$\text{Гликоген} = 0,044 \times \text{Белок}$$

$$ЖМТ = 1,318 \times M_c - 4,353 \times MN - 0,070 \times M_{Ca}$$

$$ММТ = 2,75 \times M_k + MNa + 1,43 \times MCl - 0,038 \times M_{Ca}$$

$$ОВО = 0,732 \times \text{БМТ}$$

Наиболее распространенные методы оценки состава тела - это калиперометрия и биоимпедансный анализ. Калиперометрия основана на измерении толщины кожно-жировых складок на разных участках тела (чаще от двух до восьми) специальными устройствами - калиперами (рис. 4). Стандартная ошибка оценки жировой массы при повторных измерениях одного и того же индивида не должна превышать 5%. Некоторые калиперы снабжены микропроцессором, что дает значительную экономию времени при

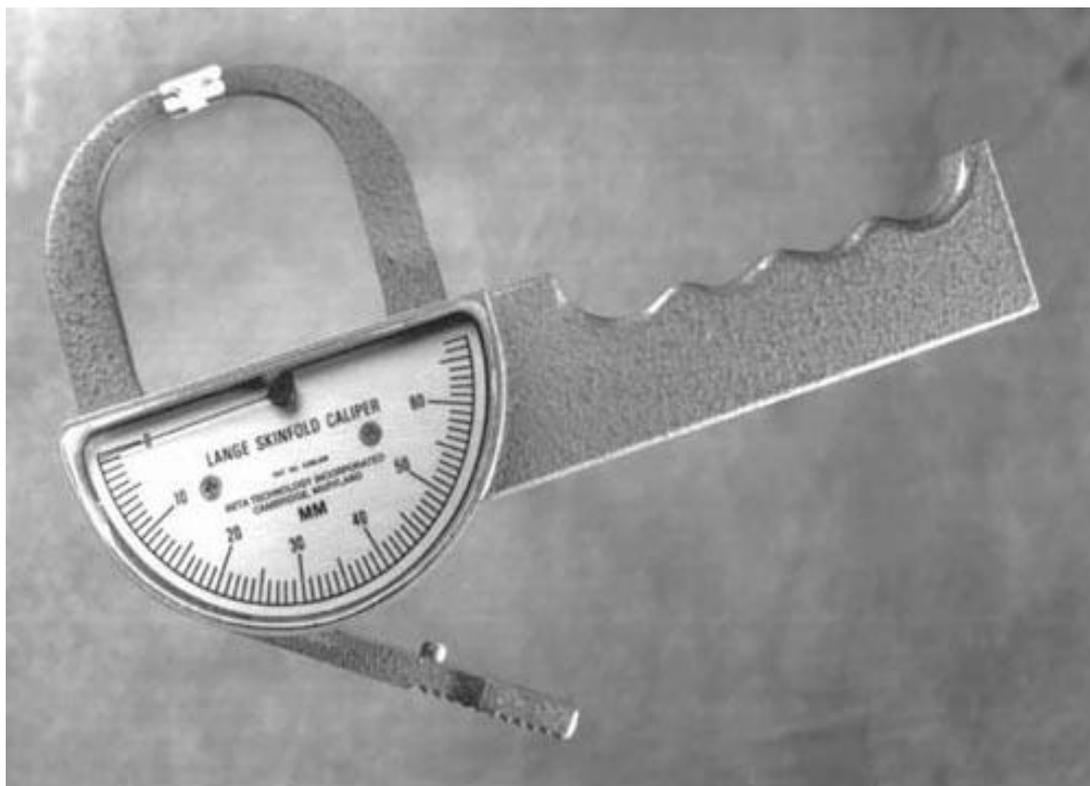


Рис.4. Калипер Ланге (Beta Technology, США).

проведении масштабных полевых исследований. Формулы для оценки состава тела специфичны для конкретных популяций. На сегодняшний день имеется свыше 100 формул для оценки жировой, безжировой и мышечной массы.

Биоимпедансный анализ – это контактный метод измерения электрической проводимости тела, позволяющий оценивать объемы

клеточной и внеклеточной жидкости, а также жировую, безжировую, клеточную и мышечную массу тела. В качестве эталона для оценки объемов водных секторов и клеточной массы тела используют методы разведения и определения естественной радиоактивности всего тела, а для других компонент состава тела – подводное взвешивание, двухэнергетическую рентгеновскую денситометрию, магнитно-резонансную томографию и др.

Биоимпедансный анализ применяется для мониторинга изменений состава тела в бодибилдинге, фитнесе, спортивной и клинической медицине. Стандартная погрешность оценки %ЖМТ в сравнении с ГД составляет 3-6%. Наилучшую точность обеспечивают измерения импеданса тела со стандартной схемой наложения электродов на голень и запястье.

В России такие приборы производит НТЦ Медасс (г. Москва) (рис. 5). Выпускается оборудование для измерения импеданса рук (American Weights and Measures, США, Omron, Япония) и ног (Tanita, Япония), однако точность получаемых оценок состава тела, как правило, более низкая.

Для оценки жировой массы тела был предложен метод инфракрасного отражения. Портативные устройства в виде источника инфракрасного излучения, снабженного световодом, принимающим детектором и микропроцессором, выпускает компания Futrex (США). %ЖМТ оценивается автоматически по характеристикам отраженного излучения в участке доминантного бицепса. Точность метода ниже, чем в случае калиперометрии и биоимпедансного анализа, поэтому его использование ограничено.

Совершенствование технологий и методов определения состава тела человека с учетом потребностей клинической медицины, экстремальной



Рис. 5. Биоимпедансный анализатор АВС 01 "Медасс".

профессиональной и спортивной деятельности позволит повысить эффективность решения клинических задач, коррекционных и профилактических мероприятий и в целом - эффективность контроля и управления состоянием здоровья человека.

В связи с необходимостью оперативной оценки и контроля состояния спортсменов на сегодняшний день наиболее интересны полевые методы

исследований, такие как калиперометрия и биоимпедансный анализ. Стационарные методы могут представлять интерес для углубленных медико-биологических исследований спортсменов – членов сборных команд и ближайшего резерва, а также в качестве эталона для проверки точности и надежности полевых методов.

2.3. Весы анализатор состава тела

Вряд ли есть необходимость убеждать кого-нибудь в том, вес является одним из показателей Вашего здоровья. Точный Ваш вес покажут напольные весы. Однако измерение веса само по себе не даёт точной картины состояния организма.

Два человека могут иметь одинаковый рост и вес, однако уровень содержания жира у одного из них может быть существенно больше и представлять риск его здоровью. Чрезмерные лишние килограммы снижают не только общее эстетическое впечатление, что было бы ещё полбеды; хуже, что это приводит ко многим функциональным нарушениям. Состав тела человека может быть оценён по различным методикам, но в большинстве случаев имеет значение отношение пропорции жировой и безжировой тканей.

2.3.2. Функционирование анализатора состава тела

1. Как работают весы анализатор состава тела? Весы анализатор – это



Рис.6. Напольные интегрированные весы с функциями анализа состава тела.

напольные интегрированные весы с функциями анализа состава тела, они позволяют увидеть любые изменения в Вашем организме, дают возможность точно понимать, что происходит внутри (рис.6).

С учетом предварительно введенных персональных данных (пол, возраст, рост, тип телосложения), весы жироанализатор одновременно с

весом определяют состав вашего тела.

Определения жировой ткани и других показателей тела основано на измерении биоэлектрического импеданса (BIA) – сопротивления тканей организма при прохождении через них электрического сигнала. В основе этого метода лежит тот факт, что биологические ткани и органы имеют разную плотность и различное электрическое сопротивление. Проводимость биологических тканей зависит от степени гидратации данных тканей и концентрации растворённых в них электролитов.

Весы жираанализатор имеют платформу с 4-мя электродами. При взвешивании, когда Вы становитесь на платформу весов, монитор посылает слабые неощутимые импульсы электрического тока, которые проходят через всё тело. Биоэлектрический импеданс (BIA) пропорционален общему содержанию воды в организме человека. В безжировых тканях, где прежде всего содержится внутриклеточная, внеклеточная жидкости и электролиты наблюдается низкое сопротивление электрическим импульсам. Жировые же ткани содержат мало воды, поэтому они являются объектами высокого сопротивления.

Это сопротивление сопоставляется с введенными персональными данными человека и его весом, на основе чего высчитывается уровень жира, воды и другие показатели состава тела.

Современные профессиональные модели жираанализаторов имеют 8 электродов. Во время измерения человек, стоя на платформе весов, дополнительно держится за ручки с электродами, что позволяет сделать сегментальный анализ рук, ног и корпуса.

2.3.1. Основные показатели состава тела

Содержание жира в организме. Весы анализатор состава тела определяют процентное содержание жировой ткани в организме человека. В соответствии с полученными данными о содержании жира прибор даёт

оценку здоровья:

- недостаток жира,
- нормальное содержание жира,
- содержание жира выше нормы,
- избыточное содержание жира, ожирение.

Для нормальной работы организма определенное количество жира необходимо любому человеку. Жир обеспечивает мягкую работу суставов, защищает органы, регулирует температуру тела, вырабатывает гормоны, сохраняет витамины, а также помогает сохранить энергию для поддержания жизненно важных процессов и физической активности.

Почти вся энергия поступает в наш организм в виде углеводов и жиров. Обе группы веществ поставляют нашему телу калории, и обе могут быть превращены в жировые отложения. Гены и метаболизм играют важную роль, влияя на скорость, с которой организм усваивает жир, его количество и распределение. Однако, в большинстве случаев вес определяется питанием и физической активностью. Потребление слишком большого количества калорий и пассивный образ жизни или сочетание того и другого ведут к увеличению жировой массы.

Даже умеренный уровень физической активности, если упражнения выполнять регулярно и в течение длительного времени, и рациональное питание положительно сказываются на состоянии здоровья. Снижение веса на 5-10%, для страдающих ожирением, уже окажет благотворное воздействие на здоровье. Ежедневное снижение потребления калорий и увеличение физической активности помогут уменьшить количество жировых отложений в организме. Чтобы снижение веса имело «здоровый характер», а его эффект был продолжительным, необходимо быть уверенными, что снижение веса связано именно со снижением жира, а не здоровой мышечной массы или воды.

Уровень содержания висцерального жира. Висцеральный жир – это жир, который окружает внутренние органы человека в области туловища (органы

желудочно-кишечного тракта), его нельзя «ухватить», он находится за мышцами живота. У здорового человека, не страдающего избыточным весом, количество висцерального жира в среднем составляет 10% от общей жировой массы, остальные 90% – это подкожный жир.

Генетическая предрасположенность к накоплению висцерального жира у мужчин выше, тогда как у женщин есть тенденция к накоплению подкожного жира. Сконцентрированный избыток жира в области живота придаёт человеку сходство с яблоком. Малоподвижный образ жизни, большие порции жирной пищи и частые переживания значительно увеличивает уровень висцерального жира. Высокий уровень висцерального жира сопутствует повышению нагрузки на внутренние органы, затрудняет их работу, нарушает обменные процессы в организме, увеличивает риск высокого артериального давления, болезней сердца и диабета.

Мышечная масса. Этот параметр показывает количество мышечной массы в организме. Измерения мышечной массы позволяет получить более точное представление о состоянии организма и изменениях в общем весе тела. Систематическая работа мышц (тренировка) увеличивает их массу, силу и работоспособность. Импульс работающих мышц положительно влияет на обмен веществ, стимулируя и активизируя его. Чем больше мышечной массы и более активную жизнь ведет человек, тем больше ему необходимо энергии. Каждый дополнительный килограмм мышечной массы требует дополнительных примерно 100-110 калорий в день.

Малоподвижный образ жизни ведёт к нарушению регуляции тонуса кровеносных сосудов, снижению обменных процессов, к атрофии мышц. Из-за уменьшения мышечной массы уменьшается емкость всей сосудистой системы, сокращается число работающих капилляров. Питательные вещества, поступающие с кровью к клеткам неработающих мышц, почти не задерживаются в них, а составляют основу для формирования жировых отложений и развития ожирения.

Содержание воды в организме. Весы анализаторы состава тела

определяют процентное содержание количества жидкости в организме человека. Роль воды для организма человека весьма велика, потому, что все метаболические процессы происходят в водной среде. В среднем общий объём воды в теле человека должен находиться в диапазонах: для женщины 45-60%, для мужчины 50-65%. Сохранение здорового уровня содержания воды в организме свидетельствует, что организм функционирует эффективно.

Костная масса. Кости обеспечивают поддержку телу, защищают внутренние органы и функционируют как хранилище важных минералов в организме. Внутри наиболее важных костей находится костный мозг, который производит клетки крови. Чтобы поддерживать функционирование человеческого тела, компоненты скелетно-мышечной системы работают совместно. Развитие мышечной массы, посредством физических упражнений, и сбалансированное питание оказывают положительное воздействие и на костную массу – делая её крепче и здоровее.

Базисный уровень метаболизма или показатель обмена веществ. Базисный уровень метаболизма – это количество энергии (калорий), которое используется организмом в состоянии покоя для поддержания жизненно важных процессов. Значительная часть энергии расходуется в процессе работы мускул, поэтому увеличение мышечной массы позволяет увеличить базисный уровень метаболизма. Имея более высокий уровень метаболизма, человек увеличивает количество потребляемых калорий, что способствует снижению количества жира в организме.

Метаболический возраст. Метаболический возраст показывает, какому возрасту соответствует состояние Вашего организма по уровню обмена веществ. Если показатель метаболического возраста больше вашего действительного возраста, следует улучшить показатель обмена веществ. Рациональное, сбалансированное питание, выполнение физических упражнений и регулярные занятия спортом не только снижают количество жировых отложений, но также улучшают кровообращение, увеличивают

мышечную массу и оказывают положительное воздействие на костную массу.

Весы жиранализатор дают наиболее наглядное представление о физической форме организма, поскольку показатели мышечной массы и количества жира являются точными индикаторами достижений человека на пути к здоровому образу жизни.

2.4. Биоимпедансметр для анализа внутренних сред организма ABC-01 Медасс

Биоимпедансметр предназначен для анализа внутренних сред организма – это процентное соотношение воды, мышечной и жировой ткани (рис.7). Он оснащён встроенной реферативной базой данных для детей и взрослых (от 5 до 80 лет).

Прибор представляет собой биоимпедансный анализатор, предназначенный для интегральной оценки состава тела в рамках трехкомпонентной модели (жировая масса, тощая масса, общая жидкость организма), длительного отслеживания динамических процессов содержания и соотношения внеклеточной и внутриклеточной жидкости, жировой массы, безжировой массы и активной клеточной массы в различных регионах тела человека с целью обнаружения нарушений гидратации тканей, в водно-солевого обмена и липидного обмена.

Физическая сущность метода заключается в измерении двух видов сопротивления тканей человеческого организма (резистивное и реактивное) с помощью 2 пар электродов в цепи рука-туловище-нога с использованием



Рис.7. Биоимпедансметр.

измерительного (зондирующего) синусоидального тока с постоянной частотой 50кГц, мощность не более 500-800мкА (высокая частота, малая мощность) в диапазоне измеряемых значений импеданса биологического объекта от 200 до 1000 Ом.

Метод БИА относится к точным методам, он позволяет выявить на основе фактических измерений сопротивления биологических тканей

организма, сделать заключение о содержании у пациента жировой массы в кг, тощей массы в кг, доли активной клеточной массы, доли активной клеточной массы в %, общей жидкости в кг, сделать вывод по классификации по проценту жировой ткани.

В методе используется трехкомпонентная модель состава человеческого тела. Общий вес тела рассматривается как сумма составляющей жировой массы (жировая ткань) и тощей массы (не жировой ткани). Тощая масса в свою очередь рассматривается как сумма составляющих: внеклеточной массы (соединительная ткань, внеклеточная жидкость) и активной клеточной массы (нервные клетки, клетки мышц и органов).

Программное обеспечение, использующее одночастотное интегральное отведение с запястья и голеностопа и основанное на европейской технологии оценки состава тела для "ABC-01 МЕДАСС", обладает следующими возможностями:

- Позволяет оценить массу жировой ткани, активную клеточную массу, количество общей воды организма;

- Удобные экранные формы и распечатываемые протоколы первичного обследования с комментариями, сравнительные (с результатами предыдущих измерений, запомненных в базе данных), графики динамики основных параметров;

В программное обеспечение полностью вошли европейские и полученные на отечественном контингенте нормы параметров состава тела.

Биоимпедансный анализ состава тела позволяет на основе определения параметров водного, белкового и липидного обмена организма оценивать

риск развития целого ряда заболеваний и метаболических нарушений.

Выявленные дифференцированные нарушения водного обмена указывают на:

- развитие патологии работы моче-выводящей системы;
- развитие патологии работы сердечно-сосудистой системы.

Выявленные нарушения липидного обмена указывают на наличие рисков:

развития гипертонической болезни;

- диабета второго типа;
- заболеваний опорно-двигательного аппарата;
- развитие моче-каменной болезни;
- белково-энергетической недостаточности (при несбалансированном питании).

Выявленные нарушения белкового обмена:

• являются неспецифическими маркерами развития хронических заболеваний катаболической направленности (цирроз печени, онкологические заболевания, гепатит, СПИД).

- позволяют оценить

достаточность уровней общей физической подготовки контингентов разных половозрастных категорий;

сбалансированность рациона питания по белковому компоненту.

Дополнительны программные модули:

HRW-04 - Программное средство, предназначенное для оценки вегетативного статуса пациента по variability сердечного ритма (по Баевскому, в рамках Евростандарта и по В.Ф.Федорову).

ABC01-044 - Программное средство, позволяющее проводить оценку и мониторинг баланса водных сред организма в процедурах инфузионно-трансфузионной терапии, обнаружение доклинических стадий отеков различной этиологии, оценку величин жировой и тощей массы, общей, вне- и внутриклеточной жидкости, ОЦК, ОЦП, интерстициальной жидкости.

ABC01-501 - Программа, позволяющая наблюдать в мониторинговом режиме перераспределение жидкости между регионами: голова, торакальная область, абдоминальная область, бедра, голени. Используется для анализа результатов

воздействия нагрузочных проб: ортостатических, дыхательных, температурных, фармакологических и др.

ABC-2121 - Программа для биоимпедансной спектрометрии локальных участков биологического объекта: десны, фрагмента кожи или слизистой, участка головы, трансплантата и др. Используется для оценки гидратации тканей в пародонтологии, косметологии, интенсивной терапии.

ABC01-0452 - Программа для синхронных оценок интегральных и региональных (руки, ноги, туловище) параметров состава тела. Позволяет использовать аппарат норм не только для общего контингента, но и для специфических групп, например, для спортсменов различных специализаций и квалификации. Поставляется в пакете программ СПОРТ.

ABC01-038 - Расширенная версия программы ABC01-03612, с возможностью автоматизированных спектроскопических исследований на 31 частоте, векторного импедансного анализа, оценки соматотипа, использования спортивных норм параметров состава тела. Поставляется в пакете программ СПОРТ.

Заключение

В итоге выполненной работы проведено исследование существующих в настоящее время анализаторов водных сред организма. Проведён анализ приборов-анализаторов, разработанных на данное время и осуществляющих оценки баланса водного, белкового и липидного обмена.

Исследование показало, что основной вид анализа – биоимпедансный анализ состава тела – позволяет на основе определения параметров водного, белкового и липидного обмена организма оценивать риск развития целого ряда заболеваний и метаболических нарушений.

В учебном процессе результаты проведённых исследований могут использоваться для чтения дисциплин по направлению «Приборостроение», и дисциплин, связанных с необходимостью разработки медицинских устройств.

Литература

1. Мартиросов Э.Г. Технологии и методы определения состава тела человека // Э.Г. Мартиросов, Д.В. Николаев, С.Г. Руднев. - М.: Наука, 2006. - 248 с.
2. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии чело

века / А.В. Скальный. - М.: Оникс 21 век, Мир, 2004. - 216 с.

3. Эмсли Дж. Элементы /Дж. Эмсли: пер. с англ. - М.: Мир, 2003. - 256 с.

4. Мартиросов Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии / Э.Г. Мартиросов. - М.: Физкультура и спорт, 2000. - 200 с.

5. Человек: Медико-биологические данные. - М.: Медицина, 2001 .- 496 с.