АНАТОМИЯ

УДК 616-053:572.087

И. В. Гайворонский[1,2], Г. И. Ничипорук[1,2], И. Н. Гайворонский [2], Н. Г. Ничипорук[1,2]

БИОИМПЕДАНСОМЕТРИЯ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

[1] Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Университетская наб., 7–9

[2] Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова,
Российская Федерация, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 37

В обзоре представлен анализ современной литературы, касающийся возможностей метода биоимпедансометрии в оценке компонентного состава тела человека. Приведены краткие исторические факты появления, становления и развития биоимпедансного анализа в различных областях медицины. Отражены основные параметры, оцениваемые данным методом, среди которых — количество жидкости в организме, индекс массы тела, скорость основного обмена, костная и жировая массы, уровень физического развития и другие, а также их референтные значения в зависимости от пола и возраста. Приведены основные характеристики биоимпедансного анализа, а также дана сравнительная оценка биоимпедансометрии и антропометрии. Описаны типы аппаратуры, используемой при проведении исследований, и их различия между собой. Сформулированы показания и противопоказании к использованию данного метода, а также методика и техника ее выполнения. Отражена область применения биоимпедансометрии в медицине и антропологических исследованиях. Отмечены половые и возрастные различия компонентного состава тела человека по результатам соматотипирования с применением метода по данным исследований, проанализированных в статье. Подчеркнута роль биоимпедансометрии как метода, лежащего в основе превентивно-предиктивной медицины, указывающего на необходимость проведения дополнительных лабораторно-функциональных исследований с целью определения дальнейшей тактики лечения и ведения пациентов. Библиогр. 39 назв.

Ключевые слова: антропометрия, биоимпедансометрия, жировая масса, индекс массы тела, компонентный состав, костная масса, мышечная масса, основной обмен, физическое развитие, электрический импеданс.

BIOIMPEDANSOMETRY AS A METHOD OF THE COMPONENT BODYSTRUCTURE ASSESSMENT (REVIEW)

I. V. Gaivoronskiy[1,2], G. I. Nichiporuk[1,2], I. N. Gaivoronskiy[2], N. G. Nichiporuk[1,2]

[1] St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

[2] Military Medical Academy named after S. M. Kirov, 37, ul. Academica Lebedeva, St. Petersburg, 194044, Russian Federation

The analysis of the modern literature concerning the opportunities of the method of analyzing bioimpedance in assessment of component body structure is presented in the review. A short historic

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2017

account of the emergence and development of bioelectrical impedance analysis is given in various fields of medicine. The key parameters estimated by this method among which are the amount of liquid in an organism, body weight index, rate of the main exchange, osseous and fatty masses, level of physical development and others, and also their reference values depending on gender and age are reflected. The main characteristics of bioimpedance analysis are provided along with a comparative assessment of bioimpendance analysis and anthropometry. The types of equipment used for carrying out research and the differences among them are described. Indications and contraindications for this method, and also the technique and technology of its performance are formulated. The scope of bioimpedance analysis is reflected in medicine and anthropological research. Differences of sex and age in component body structures are determined by somatotyping that employs a method developed by the researchers. The role of bioimpedance analysis as a method which is a cornerstone of preventive and predictive medicine is emphasized. This thus indicates the need to carry out additional laboratory and functional research in order to arrive at new tactics of treatment and health maintenance. Refs 39.

Keywords: anthropometry, bioimpedansometry, fatty weight, body weight index, component structure, osseous weight, muscle bulk, main exchange, physical development, electric impedance.

Биоимпедансный анализ (БИА) — это контактный метод измерения электрической проводимости биологических тканей, дающий возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических параметров организма. В биоимпедансном анализе измеряются активное и реактивное сопротивления тела человека и/или его сегментов на различных частотах. На их основе рассчитываются характеристики состава тела, такие как жировая, клеточная и скелетно-мышечная массы, объем и распределение воды в организме [1].

Для проведения биоимпедансометрии используют аппарат, который называется биоимпедансметр. Это оборудование изначально было разработано с целью расчета введения лекарственных средств в реанимационных отделениях.

На сегодняшний день биоимпедансный анализ успешно применяют в своей практике врачи разных специальностей: диетологи, эндокринологи, доктора других направлений [2]. Методика предоставляет врачу большой объем ценной информации, указывает на необходимость проведения лабораторно-функциональных исследований, помогает в определении тактики лечения.

Краткая история вопроса

Первое упоминание об исследовании электрической проводимости биологических объектов принято относить к работам В. Томсона, датированным 1880 годом. Основополагающие результаты в этой области были получены в начале и середине XX века. К ним относятся: установление типичных значений удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости тканей, органов и жидких сред живого организма, а также выявление и частичное объяснение зависимости проводимости и диэлектрической проницаемости биологических жидкостей и клеточных суспензий от частоты зондирующего тока. С этими достижениями связаны имена Г. Фрике, К. Коула, Б. Н. Тарусова, Г. Шванна и других исследователей [1; 3].

Термин «биоимпеданс» стал общепринятым в зарубежных публикациях второй половины XX века для характеристики электрических свойств биологических объектов, имеющих клеточную структуру. Электрический импеданс биологических тканей имеет два компонента — активное и реактивное сопротивления. Субстратом активного сопротивления являются биологические жидкости (вне- и внутри-

клеточная), обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления являются клеточные мембраны. Для оценки общей воды организма (ОВО), безжировой мышечной массы (БММ), скелетно-мышечной массы (СММ), а также внеклеточной жидкости (ВКЖ) используются значения активного сопротивления, разные по частоте. По величине реактивной составляющей импеданса рассчитываются значения основного обмена (ОО) и активной клеточной массы (АКМ) [1; 3].

Практическое применение биоимпедансного анализа для характеристики состава тела человека для оценки водных секторов организма, а затем и других компонентов состава тела принято связывать с работами французского анестезиолога А. Томассета, выполненными в начале 1960-х годов.

Данный метод исследования активно практиковали и в спортивной медицине уже в середине XX века. Он позволял объективно контролировать объем мышечной массы у спортсмена, его физическую активность и выносливость. В соответствии с регулярными измерениями корректировались нагрузка, режим питания, рацион, рассчитывался суточный калораж. Это обеспечивало достижение высоких результатов [4].

Э. Хоффер с соавторами показал наличие высокой корреляции между индексом импеданса и величиной ОВО, что открыло возможности для применения метода в исследованиях состава тела. Первые серийные биоимпедансные анализаторы появились в США в конце 1970-х. В многочисленных зарубежных публикациях показаны точность и надежность биоимпедансных оценок состава тела в сравнении с эталонными методами [5].

История российских исследований и разработок в области биоимпедансного анализа насчитывает более 70 лет. Первые работы по этой тематике были опубликованы в 1930-х годах Б. Н. Тарусовым, и тогда же небольшими партиями начался выпуск биоимпедансной аппаратуры для оценки приживаемости трансплантатов на основе данных об их электрической проводимости.

Таким образом, начиная с 1960-х годов и по настоящее время метод биоимпедансного анализа, основанный на измерении электрической проводимости различных тканей человека, применяется специалистами уже более 65 лет в различных сферах деятельности: в медицине, спорте, образовании, науке, космической и военной деятельности и др. [1; 3].

Метод и методика

В основе БИА лежит определение электрического импеданса биологических объектов.

Импедансом называют полное электрическое сопротивление тканей. Эта величина имеет два компонента: активное и реактивное сопротивления. Активное, или омическое, сопротивление характеризует способность тканей к тепловому рассеянию электрического тока. Реактивное сопротивление характеризуется смещением фазы тока относительно напряжения за счет емкостных свойств клеточных мембран, способных накапливать электрический заряд на своей поверхности [6].

Физическая сущность метода биоимпедансометрии заключается в измерении электрического сопротивления организма (импеданса) при помощи биоим-

педансного анализатора. Поскольку разные ткани имеют различное сопротивление, используя биоимпедансометр, можно точно измерять и определять содержание в организме воды, жирового и мышечного компонентов. При этом используются две пары электродов в цепи «рука — туловище — нога» с применением зондирующего синусоидального тока постоянной частоты и малой мощности (не более 500–800 мкА).

Электрический ток может протекать, огибая клетки и через клетки. Границы клеток образованы мембранами, которые по своим электрическим свойствам являются конденсаторами, зависящими от частоты переменного тока. Эквивалентная схема биообъекта содержит сопротивление внеклеточной жидкости, сопротивление клеточной жидкости и емкость мембран [1].

Удельное сопротивление биологических тканей, определяемое для заданной частоты тока, может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов: почки и легкие изменяют электропроводность при различном крове- и воздухонаполнении, мышечные ткани — при различной степени сокращения мышц, кровь и лимфа — при изменении концентрации белков и электролитов, очаги повреждения (по сравнению с нормальной тканью) — в результате отеков или ишемий различной природы, опухолей и других причин. Это позволяет использовать биоимпедансометрию для количественной оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях, а также для выявления изменений в тканях, вызываемых лекарственными, ортостатическими, физическими и другими нагрузками.

БИА состава тела заключается в первую очередь в оценке количества жидкости в биообъекте, так как именно жидкая среда создает активную составляющую проводимости. Оценка объема жидкости в организме по импедансу осуществляется с использованием физических и/или эмпирических моделей [1; 3].

Электрический импеданс биологических объектов измеряют при помощи специальных устройств — биоимпедансных анализаторов. В зависимости от используемого набора частот переменного тока биоимпедансные анализаторы относят к одночастотным (на одной частоте, как правило равной 50 кГц; в этом случае реактивная компонента импеданса тканей мышц близка к максимальной), двух- или многочастотным (используется несколько частот переменного тока в широком диапазоне — от 1 кГц до 1,3 МГц). В последнем случае метод имеет название биоимпедансной спектрометрии [3].

Сегодня в мире применяется более 100 тысяч биоимпедансных анализаторов: в научных исследованиях, клинической и спортивно-оздоровительной медицине, диетологии и косметологии.

Существует несколько видов приборов для измерения биоимпеданса, но принцип действия для всех одинаков. Один из способов измерения внешне походит на снятие ЭКГ. Это так называемый горизонтальный тип биоимпедансометров. Сначала врач вносит в компьютерную программу такие данные, как возраст, пол, вес и рост, обхват талии, бедер, окружность запястий. Человека укладывают, к его запястьям и лодыжкам подключают специальные датчики — электроды, через которые подается слабый переменный ток малой мощности [7].

Другие типы приборов для измерения биоимпеданса больше походят на медицинские весы — это вертикальный тип биоимпедансометров. Пациент встает

голыми ногами на платформу, где расположены электроды, держится руками за выдвижные ручки, на которых также расположены электроды. Ноги при этом должны быть раздвинуты так, чтобы они не касались друг друга, а руки не касались тела.

Наиболее часто в практике врача-диетолога используется горизонтальный тип биоимпедансометрии, вертикальный вариант применяют в спортивной медицине [8].

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 определения обхватов талии и бедер.

Измерения проводятся менее одной минуты, при этом накладывать электроды и снимать показания может не только врач, но и средний медперсонал, обученный работе с прибором. Результаты, полученные в ходе этой безопасной, безболезненной, неинвазивной и быстрой процедуры, анализируются компьютерной программой и выдаются в виде удобных экранных форм с комментариями [9]. Помимо показателей только что проведенного обследования, в протоколе содержится сравнительная информация с учетом внесенных в базу данных параметров предыдущих измерений.

Подготовка пациента перед процедурой биоимпедансометрии включает следующие пункты:

- за неделю до обследования следует прекратить прием диуретиков;
- за двое суток до процедуры необходимо воздержаться от употребления алкоголя, чая и кофе;
- последний прием воды и пищи должен быть не позднее, чем за 3–4 часа до обследования;
- за полчаса до процедуры пациенту следует опорожнить мочевой пузырь;
- перед началом обследования рекомендуется провести 7–10 минут лежа на горизонтальной поверхности (подготовительное время увеличивается в жаркую или холодную погоду с целью предварительной акклиматизации пациента);
- температура в помещении во время процедуры должна составлять 22–25 °С.

Непосредственно перед аппаратным обследованием производятся необходимые замеры: определяются рост, вес, обхваты талии и бедер. Все измерения, а также фамилия, имя, отчество, пол и дата рождения обследуемого заносятся в базу компьютерной программы [8].

Во время процедуры пациент должен лежать на спине, будучи изолированным от окружающих электропроводящих предметов. Не должно быть соприкосновения между внутренними поверхностями бедер (до паха), а также между внутренними поверхностями рук и туловищем (до подмышечных впадин). С рук пациента следует снять часы, цепочки, кольца и браслеты из металла, а металлические предметы на шее нужно сдвинуть к подбородку. Соответствующие участки кожи перед прикреплением электродов следует протереть спиртом.

При работе с биоимпедансным анализатором имеется возможность выполнять измерения с использованием датчиков двух видов: одноразовых стикеров (наклеек) или многоразовых электродов-клипс, которые также применяются при проведении электрокардиографии. Использование одноразовых электродов-стикеров обеспечивает более высокую точность измерений, поскольку стикеры надежно крепятся к коже, что исключает вероятность их смещения.

Расположение электродов на руке с использованием стикеров должно быть следующим: середина красного электрода должна находиться над сочленением пястных костей и основания фаланг между указательным и средним пальцами. Середина черного электрода располагается над сочленением костей кисти и предплечья.

При расположении электродов на ноге с использованием стикеров середина красного электрода должна находиться над сочленением костей плюсны и основания фаланг между вторым и третьим пальцами. Середина черного электрода располагается над сочленением костей стопы и голени [8; 9].

По окончании диагностики пациенту выдают протокол со всеми показателями, которые отражаются не только в текстовом, но и в графическом и схематическом форматах. Полученные данные сохраняются, чтобы с течением времени можно было пройти контрольное обследование и оценить функциональное состояние организма в динамике, после окончания курса, назначенного врачом.

Сравнительная оценка биоимпедансометрии и антропометрии

Среди оперативных методов определения состава тела человека наибольшей популярностью в мировой практике пользуются антропометрические методы, а в последние годы с успехом применяется биоимпедансный анализ [3].

История применения антропометрии для определения состава тела насчитывает без малого 85 лет и, по-видимому, берет начало в работе Й. Матейки, предложившего в 1921 году формулы для определения количества жировой, мышечной и костной ткани in vivo на основе измерения толщины кожно-жировых складок [10].

Антропометрией называют совокупность методологических приемов в антропологическом исследовании для измерения (соматометрия) и/или описания (антропоскопия) тела человека в целом или отдельных его частей, а также для характеристики их изменчивости. В рамках антропометрии выделяют отдельные направления, связанные с измерением костей скелета и черепа (остеометрия, краниометрия) [11; 12].

Среди антропометрических методов альтернативой биоимпедансному анализу состава тела является расчет индекса массы тела по формуле индекса массы тела (ИМТ): ИМТ = вес, кг / (рост, м)^2 [13]. Однако такой расчет дает довольно усредненное значение. В оценке ожирения и других нарушений трофического статуса на индивидуальном уровне индекс массы тела обладает слабой диагностической чувствительностью (порядка 50 %) и имеет серьезные недостатки.

Биоимпедансный анализ тела предоставляет объективные данные о составе биологических тканей конкретного пациента и указывает на возможные отклонения и функциональные нарушения в организме [14].

Безусловно, интерпретация полученных данных требует высокой квалификации специалиста.

Показатели, полученные методом биоимпедансометрии, адекватным образом отражают конституциональные особенности организма. При этом величина жировой массы, определяемая при помощи антропометрических расчетных формул, имеет высокую корреляцию с массой жира, полученной при БИА. Данный факт вполне очевиден и предсказуем, однако, по данным разных исследователей, коэффициенты корреляции между указанными параметрами колеблются в широких пределах — от 0,5 до 0,98, а различия результатов БИА и калиперометрии порой достигают 15 %. Данный факт свидетельствует о необходимости тщательного подбора формул для расчета состава тела при отсутствии возможности проведения биоимпедансометрии.

Общее количество воды в организме, уровень основного обмена, биоэлектрические параметры тканей невозможно рассчитать на основании антропометрии. Тем не менее, перечисленные показатели являются существенными в учении о составе тела, так как многочисленные исследования подтверждают их значимость как информативных критериев границ нормальной и патологической изменчивости отдельных органов, систем и организма в целом [15].

Возможности биоимпедансометрии

На основании данных биоимпедансометрии можно оценить следующие показатели:

- индивидуальное значение идеального веса;
- количество жировой ткани в килограммах и в отношении к общему весу;
- количество внеклеточной жидкости (кровь, лимфа);
- количество внутриклеточной жидкости;
- количество жидкости, находящейся в организме в связанном состоянии (в отеках);
- количество в килограммах и процентах активной клеточной массы (мышцы, органы, мозг и нервные клетки);
- ИМТ;
- основной обмен веществ (ккал) — обмен веществ за 24 часа в состоянии покоя;
- соотношение ионов натрия и калия в организме (Na^+/K^+);
- отклонение измеренных величин от нормы;
- динамику изменений.

Общий вес тела рассматривается как совокупность жировой и тощей массы. Тощая, или нежировая, включает в себя внеклеточную массу (соединительная ткань, внеклеточная жидкость) и активную клеточную массу (клетки мышц и органов, нервные клетки). Величина каждого показателя зависит от нескольких факторов, в особенности от пола и возраста обследуемого [16].

Основные параметры, оцениваемые методом биоимпедансометрии:

1. Количество жидкости в организме.

Определяется общий объем, а также содержание внутри-, вне- и межклеточной жидкостей. В норме этот параметр равен 45–60 % массы тела. С помощью

показателя количества межклеточной жидкости можно оценить, имеются ли отеки, которые могут указывать на нарушение функции сердца или почек. По уровню повышения данного показателя можно судить о степени выраженности задержки жидкости в организме. Внеклеточная жидкость — это кровь и лимфа. Когда количество внеклеточной жидкости ниже нормы, это указывает на сгущение крови, что повышает вероятность образования тромбов (и, соответственно, риск развития тромбоза вен, инфаркта и инсульта) [17; 18]. Также при сгущении крови замедляется обмен веществ, что уменьшает сжигание калорий. Если подобное происходит в период интенсивных физических нагрузок, значит, следует увеличить количество потребляемой жидкости.

2. Индекс массы тела.

Путем расчета данного показателя оценивается степень соответствия массы человека его росту, что косвенно позволяет судить об умеренном, недостаточном или избыточном весе. ИМТ указывает на оптимальный вес, который проще всего поддерживать в течение длительного времени без жестких диет и изнурительных физических тренировок. Для расчета ИМТ самостоятельно нужно разделить вес тела (в килограммах) на рост (в метрах) [13]. Согласно ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), приняты следующие показатели ИМТ:

- ИМТ < 18,50 — недостаточный вес;
- ИМТ = 18,50–24,99 — нормальный вес;
- ИМТ = 25,00–29,99 — избыточная масса тела;
- ИМТ = 30,00–34,90 — ожирение I степени;
- ИМТ = 35,00–39,90 — ожирение II степени;
- ИМТ < 40,00 — ожирение III степени (морбидное).

Это усредненные данные, поскольку существует зависимость от возраста и других факторов, что оценивается с помощью более сложных формул.

3. Скорость основного обмена.

Показатель основного (или базального) обмена веществ — это суточный расход калорий в состоянии покоя, необходимый организму для обеспечения нормальной жизнедеятельности. Чем выше скорость обмена, тем больше калорий сжигается. Чем она ниже, тем больше вероятность набора лишнего веса [19; 20]. Составляя программу похудения или тренировок, нужно учесть траты на физическую активность и таким образом вычислить энергетические потребности за сутки.

4. Фазовый угол биоимпеданса.

Данный параметр (характеризующий сдвиг фазы переменного тока относительно напряжения) считается показателем тренированности и выносливости организма, состояния его клеток и интенсивности обмена веществ. Также на его основании делается вывод о биологическом возрасте человека (соответствие физических параметров фактического возраста), поскольку высокие цифры фазового угла указывают на хорошую активность скелетных мышц и отличное состояние клеточных мембран. С возрастом, а также при наличии хронических заболеваний и дефиците питательных веществ этот показатель уменьшается [21; 22]. Очень низкие значения встречаются при преобладании катаболических процессов в организме: при онкологии, туберкулезе, гепатите, циррозе печени и других тяжелых заболеваниях, причем существенное снижение показателя фазового угла биоимпеданса может свидетельствовать о плохом прогнозе. Значение фазового угла при

частоте тока 50 кГц в норме составляет у мужчин 7,6 ± 1°, у женщин 6,9±1,3° (пределы изменений в зависимости от возраста — 3–10°, международная норма — от 5,4 до 7,8°).

5. Активная клеточная масса (АКМ).

Чем выше в организме процент активной клеточной массы, тем больше человек тратит энергии (включая затраты на пищевой термогенез, основной обмен и физическую активность) и тем быстрее худеет, поскольку в АКМ происходит основное сжигание калорий. При дефиците активной клеточной массы накопление жира будет продолжаться даже при низкой калорийности рациона [23]. У здорового человека процент АКМ составляет около 75–85 % веса. При более низком ее содержании можно предположить патологию щитовидной железы (с усилением обмена веществ) или печени. С уменьшением доли АКМ снижается масса тела, однако нарушаются клеточное питание и функции внутренних органов. Исследование состава тела помогает избежать неблагоприятных последствий. Не менее полезно проведение биоимпедансометрии при тренировках и диете с целью интенсивного набора мышечной массы. В норме она оставляет 30–40 % от массы тела. Чем активнее силовая физическая нагрузка, тем больше увеличивается мышечная масса и соответственно тем выше показатель [24]. Процесс набора веса должен происходить за счет повышения содержания в организме сухой мышечной массы, однако зачастую при несбалансированном питании увеличение массы тела идет также за счет большого количества жировых отложений. И здесь снова поможет регулярный контроль с помощью биоимпедансного анализатора.

6. Костная масса.

Костная масса представляет собой совокупность в организме человека органических веществ, таких как кальций, магний, цинк и др.

Средний показатель оценочной костной массы в зависимости от пола и массы тела составляет:

- для женщин до 50 кг — 1,95 кг костной ткани; от 50 до 75 кг — 2,40 кг; более 75 кг — 2,95 кг;
- для мужчин до 65 кг — 2,66 кг костной ткани; от 65 до 95 кг — 3,29 кг; более 95 кг — 3,69 кг [25].

Недостаток костной массы может быть признаком остеопороза, нарушения структуры костной ткани, что ведет к повышенному риску возникновения переломов. Нередко такое состояние наблюдается при несбалансированном питании с дефицитом кальция, магния и некоторых витаминов в рационе, малоподвижном образе жизни, нарушении обмена веществ, заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Вероятность развития остеопороза также повышена при лишнем весе или его недостатке. Кальций является основным структурным элементом костной ткани, и поэтому дефицит данного минерала отражается в понижении доли костной массы в организме. Также кальций необходим для работы мышц, свертывания крови и функционирования нервной системы.

7. Жировая масса.

Жировая ткань необходима организму, поскольку является запасом энергии, витаминов и жирных кислот, которые являются участниками жизненно важных процессов. Жировые клетки выполняют защитную и теплоизолирующую функции, накапливают и синтезируют некоторые гормоны. Однако избыток жировой мас-

сы вызывает в организме многочисленные нарушения. Во-первых, с целью кровоснабжения жировой ткани увеличивается сеть кровеносных сосудов, что создает дополнительную нагрузку на сердце. Во-вторых, в жировых клетках накапливаются шлаки и токсины. В-третьих, возникают гормональные нарушения. В-четвертых, при значительном излишке веса увеличивается нагрузка на суставы и позвоночник, а в-пятых, повышается риск развития атеросклероза сосудов, который, в свою очередь, приводит к серьезным последствиям в виде инфаркта и инсульта [26]. Более точное заключение о конкретных нарушениях в организме и прогнозе заболеваний можно сделать по измерению объема жировой массы в различных областях тела человека, что выполняется при биоимпедансометрии.

Оптимальный уровень жирового компонента в процентах для женщин в зависимости от возраста: до 30 лет — 20–28 %, 30–39 лет — 21–29 %, 40–49 лет — 22–29 %, 50–59 лет — 23–31 %, после 60 лет — 24–32 %.

У мужчин: до 30 лет — 18–24 %, 30–39 лет — 19–26 %, 40–49 лет — 19–27 %, 50–59 лет — 20–29 %, после 60 лет — 22–31 %.

8. Рейтинг физического развития.

Этот параметр оценивает физическое состояние в соответствии с соотношением количества жира и мышечной массы в организме. Если исследуемый становится более активным и количество жира в организме снижается, то рейтинг физического развития соответствующим образом также изменяется. Даже если общий вес не изменяется, уровни мышечной массы и жира могут изменяться [27].

Выделяют девять уровней физического развития. Первый — скрытая полнота. Для него характерен малый скелет, полнота. Кажется, что человек физически здоров, однако на самом деле имеется высокое содержание жира и пониженная мышечная масса. Второй — наличие полноты (средний скелет, полнота, имеется высокое содержание жира и средняя мышечная масса). Третий — крепкое сложение (крупный скелет, полнота, имеется высокое содержание жира и большая мышечная масса). Четвертый — недостаточная натренированность (малая мышечная масса и среднее содержание жира). Пятый — стандарт (средние мышечная масса и содержание жира). Шестой — стандарт мышечный, характеризующийся большой мышечной массой и средним содержанием жира. Седьмой — худоба (малая мышечная масса и низкое содержание жира). Восьмой — худоба и наличие мышц (низкое значение содержания жира, но достаточное количество мышечной массы). Девятый — выраженность мышц (низкое содержание жира, но выше среднего количество мышечной массы).

Области применения биоимпедансного анализа

В последние годы БИА широко используется в клинической медицине. Известны работы в онкологии, хирургии, кардиологии, акушерстве, эндокринологии, анестезиологии, реаниматологии и других областях. Оценка нутритивного статуса при помощи БИА является на сегодняшний день одной из самых распространенных сфер клинического применения метода. БИА хорошо зарекомендовал себя в диагностике катаболических сдвигов при туберкулезе. Огромное число публикаций последних лет посвящено применению БИА для мониторирования изменений состава тела больных, находящихся на регулярном гемодиализе.

Биоимпедансный анализ состава тела помогает контролировать состояние липидного, белкового и водного обмена организма и в связи с этим представляет интерес для врачей различных специальностей. Зная состав тела, терапевты и кардиологи оценивают риск развития метаболического синдрома, степень гидратации тканей. Биоимпедансный анализ служит одним из инструментов диагностики и оценки эффективности лечения больных ожирением. У больных сердечно-сосудистыми заболеваниями биоимпедансометрия применяется для оценки нарушений водного баланса, перераспределения жидкости в водных секторах организма и подбора лекарственных препаратов [1; 28; 29]. У реанимационных больных метод используется для мониторинга и планирования инфузионной терапии, а при циррозе печени — для прогнозирования риска клинических осложнений и оценки времени дожития.

Однако клиническое применение БИА во всех вышеперечисленных областях составляет в общей сложности не более 20 % в общей сфере научно-практического приложения метода. Остальные 80 % используемых сегодня биоимпедансных приборов находятся в арсенале диетологов [30], косметологов и других специалистов индустрии коррекции телосложения. Кроме того, метод популярен в среде исследователей, занимающихся изучением здорового человека, проблемами мониторинга здоровья, а также в спортивной медицине.

На уровне строения целостного организма БИА также хорошо зарекомендовал себя и нашел применение в биомедицинской антропологии. На сегодняшний день известно, что показатели биоимпедансометрии являются специфичными в отношении пола, возраста и некоторых антропометрических показателей.

В связи с потребностью динамического наблюдения за физическим развитием растущего организма особую актуальность представляет контроль динамики состава тела детей. Совместный опыт антропологов и педиатров показывает возможность использования БИА в детской практике. Основной сложностью применения тетраполярного способа биоимпедансометрии у детей является необходимость нахождения в вынужденной позе в течение нескольких минут, что элиминирует возможность включения метода в программу обследования новорожденных и детей раннего возраста. Большинство исследователей сходятся во мнении, что возраст 7–10 лет является оптимальным для начала проведения БИА.

Исследование динамики состава тела здорового контингента методом БИА апробировано не только в условиях привычного существования человека, но и во время длительных и краткосрочных космических полетов. Научный и практический интерес в связи с этим представляет мониторирование состава тела, и прежде всего инфраструктуры жидкостных пространств организма в невесомости [31].

Возможность оценки таких показателей, как жировая, мышечная массы, уровень основного обмена, клеточная и внеклеточная жидкости как всего тела, так и его отдельных областей, позволяет использовать БИА в спортивной медицине. БИА активно применяется с целью динамичного мониторирования изменений состава тела спортсменов в условиях тренировочного процесса и подготовки к соревнованиям, а также для прогноза спортивных достижений. Изменения относительного содержания жировой и мышечной ткани, оцениваемые методом БИА, могут служить индикатором как оптимальной тактики подготовки спортсмена, так и недостаточности общей физической подготовки или, напротив, перетренирован-

ности. В данном случае БИА позволяет не только определять компонентный состав тела, но и служить основой для разработки методов оценки индивидуальной адаптации к силовым нагрузкам [32; 33].

Основными причинами для назначения процедуры БИА являются:

- коррекция массы тела;
- контроль набора мышечной массы (спортсменам);
- желание узнать более подробную информацию о состоянии своего организма, чтобы определить спектр обследований и лечебных мероприятий;
- периодическая коррекция питания при помощи диет;
- проведение лечебно-разгрузочных мероприятий;
- эндокринные заболевания (патологии щитовидной железы, сахарный диабет и пр.);
- заболевания почек (для подбора и коррекции мочегонной терапии);
- заболевания сердечно-сосудистой системы;
- анемия;
- заболевания печени;
- заболевания опорно-двигательного аппарата;
- остеопороз;
- варикозное расширение вен;
- травмы, заболевания суставов;
- дерматология (пациенты с акне, выпадением волос, слоящимися ногтями, аллергическими дерматитами);
- заболевания полости рта (крошащиеся зубы, пародонтозы);
- перименопауза;
- планирование беременности;
- аллергология, иммунология (особенно при иммуносупрессии, вирусной нагрузке);
- неврология (остеохондроз, заболевания головного мозга);
- нервная анорексия.

Не рекомендуется выполнять биоимпедансометрию при беременности или при наличии кардиостимулятора, а также в период менструации, при повышении температуры тела или повреждении кожи в местах наложения электродов.

Таким образом, совершенствование аппаратных и программных средств БИА в последние годы существенно повысило его возможности и расширило перечень отраслей науки и практики для его применения [34]. Важнейшей перспективой дальнейшего развития метода является его повсеместное внедрение в профилактическую медицину при решении вопросов сохранения и укрепления здоровья населения.

Половые и возрастные особенности строения организма по данным биоимпедансометрии

По результатам биоимпедансометрии, существуют значимые различия в компонентном составе тела человека в зависимости как от пола, так и от возраста.

По данным исследований установлено, что у женщин в интервале от юношеского до пожилого возраста в каждой последующей возрастной группе жировая

масса выше, чем в предыдущей, а в старческом возрасте, напротив, отмечаются более низкие ее значения [32].

Увеличение количества жировой ткани в организме сопровождается уменьшением доли тощей (безжировой) массы и отдельных ее составляющих (мышечной и костной тканей, водного компонента). В самой молодой группе женщин (16–20 лет) безжировой компонент (без фракционирования его на отдельные элементы) составляет 78 % от массы тела, и уже в первом периоде зрелого возраста отмечается тенденция к его снижению. Во втором зрелом возрасте относительная тощая масса меньше, чем в юношеском, на 10,5 %. Общее снижение количества безжировой массы от юношеского до пожилого возраста включительно составляет 14,07 %. В старческом возрасте процент тощей массы выше, чем в пожилом, и достигает 71 % [32; 35].

Активная клеточная масса (АКМ) является специфическим показателем, определяемым методом БИА. Данный показатель представляет собой часть тощей массы, включающей массы мышц, внутренних органов, мозга и нервных клеток. Очень важно, чтобы на протяжении длительного времени АКМ оставалась неизменной [15, 36]. Различия абсолютной АКМ у представительниц разных возрастных групп незначительны и не подчиняются строгим закономерностям. В то же время процентное содержание АКМ в каждой последующей возрастной группе имеет более низкие значения, однако общая разница между величинами данного показателя от юношеского до старческого возраста составляет в среднем всего 4 % [32; 37].

Абсолютная мышечная масса в промежутке от юношеского до второго зрелого возраста статистически значимо не различается и имеет значения, близкие к общепопуляционным. У пожилых женщин этот показатель достоверно меньше и к старческому возрасту достигает минимума.

Биоимпедансный анализ тканевых компонентов по процентному содержанию в организме, а не по абсолютным числам представляется более целесообразным вследствие существенной разницы в массе тела разных возрастных групп [32]. При таком подходе возрастная динамика относительной мышечной массы носит несколько иной характер, чем абсолютные показатели, которые характеризуются постепенным уменьшением процентного содержания скелетной мускулатуры от юношеского возраста до пожилого. У женщин старческого возраста отмечается несколько большая относительная мышечная масса по сравнению с пожилыми [38; 39].

Несомненным достоинством БИА является возможность определения гидратации тканей. В частности, в программе оценки состава тела предусмотрен расчет общего количества воды в организме, которое также связано с возрастом. Данное утверждение больше касается относительного содержания воды, нежели ее абсолютных значений, ввиду возрастных различий массы тела. Выявленная закономерность выражается в наличии большего содержания жидкости в юношеском периоде онтогенеза с последовательным уменьшением в 1,5 раза в пожилом. Представительницы старческого возраста характеризуются более высокой по сравнению с пожилыми гидратацией организма.

Соответственно изменчивости компонентов биоимпеданса возрастным трансформациям подвержен фазовый угол, отражающий упорядоченность клеточных структур организма и, как следствие, являющийся своеобразным биофизическим

индикатором общего состояния организма. Средние значения фазового угла у женщин 16–36 лет составляют в среднем 7,5°. В старших возрастных группах отмечается уменьшение значений фазового угла от 7,5° во втором зрелом до 6,5° в старческом возрасте [21]. Изменчивость данного показателя имеет постепенный характер при переходе от одной возрастной группы к другой.

С помощью БИА по интегральной одночастотной методике возможна оценка одной из важнейших характеристик метаболизма человека — величины основного обмена, который характеризует минимальный расход энергии, необходимый для поддержания процессов жизнедеятельности организма в состоянии покоя. У представительниц юношеского и первого зрелого возраста уровень основного обмена практически одинаковый. Статистически значимые различия регистрировались при анализе основного обмена в старших возрастных группах [32; 27]. Женщины второго зрелого возраста имеют достоверно более высокие значения указанного показателя по сравнению с юношеским и первым зрелым. Основной обмен у пожилых женщин находится на уровне, сопоставимом с предыдущим возрастным периодом, но достоверно выше, чем в старческом возрасте.

Возрастная изменчивость удельного обмена имеет иную направленность в сравнении с абсолютными энерготратами. Так, у женщин в юношеском возрасте регистрируются максимальные величины данного параметра. У представительниц первого периода зрелого возраста удельный обмен несколько ниже. Еще более низкие значения удельного обмена отмечаются во втором зрелом возрасте, что достоверно не отличается от аналогичного показателя пожилых женщин. Женщины старческого возраста характеризуются несколько большей интенсивностью обмена относительно площади поверхности тела в сравнении с пожилыми [32].

Изучение физического статуса как исходного уровня здоровья мужской популяции приобретает особый смысл, так как, по данным многочисленных исследований, представители сильной половины человечества составляют на сегодняшний день уязвимый контингент с высокой заболеваемостью и смертностью. В связи с этим физический статус может рассматриваться в качестве критерия донозологической диагностики здоровья, так как зачастую удается провести клинико-антропологические параллели между особенностями течения патологических процессов в организме и конституциональными особенностями индивида во взаимосвязи с полом и возрастом.

Оценка состава тела на основе биоэлектрических свойств тканей также подтверждает наличие возрастных особенностей. Жировая масса, определяемая по параметрам биоимпеданса, у мужчин старческого возраста характеризуется самыми низкими значениями в популяции как в абсолютных числах, так и в процентном выражении. Напротив, мужчины второго зрелого и пожилого возрастов отличаются наибольшим содержанием жирового компонента. Молодые мужчины (юношеский и первый зрелый возраст) занимают промежуточное положение по массе жировой ткани.

Аналогичные возрастные различия выявлены по абсолютной тощей массе: в старческом возрасте она минимальна, во втором зрелом и пожилом представлена наибольшими значениями, а мужчины юношеского и первого зрелого возраста по величине данного параметра занимают промежуточное положение [24; 32]. В то же время процентное содержание безжирового компонента имеет обратную

закономерность изменчивости. Учитывая, что бóльшие значения общей массы тела у мужчин второго зрелого и пожилого возрастов обусловлены повышенным содержанием жировой массы, а не безжирового остатка, процентное содержание последнего в данных возрастных периодах самое низкое.

В старческом возрасте регистрируются самые высокие показатели относительной тощей массы. Мужчины юношеского и первого зрелого возрастов по содержанию безжирового остатка находятся в промежуточной позиции между представителями старших возрастных групп.

Изменчивость абсолютной и относительной массы активных клеточных компонентов имеет характер постепенного уменьшения с возрастом. На протяжении от юношеского до старческого периода онтогенеза абсолютная АКМ уменьшается так же, как и у женщин. При этом резких перепадов значений АКМ при переходе от одной возрастной группы к другой не отмечается. Значения относительной АКМ в разных возрастных группах подчиняются аналогичным закономерностям изменчивости: самое высокое процентное ее содержание в тощей массе выявляется в юношеском и первом зрелом возрастах, а в старших возрастных группах представлено более низкими значениями.

Абсолютная мышечная масса, рассчитанная на основе БИА, имеет тесные связи с возрастом обследованных. В юношеском возрасте она максимальна, а в первом зрелом возрасте величина данного показателя характеризуется меньшими значениями. В дальнейшем от второго зрелого до старческого возраста отмечается статистически значимое снижение величины мышечной массы, и у мужчин старше 75 лет она самая низкая.

Процентное содержание скелетной мускулатуры в организме мужчин также характеризуется уменьшением значений в зависимости от возраста — от 46,64 % у юношей до 35,84 % у пожилых мужчин. В то же время у представителей старческого возраста отмечен «феномен скачка», поскольку указанная группа мужчин отличается меньшей массой тела по сравнению с мужчинами пожилого и второго зрелого возрастов. Несмотря на самые низкие абсолютные величины мышечной массы, ее относительные показатели существенно выше и составляют в среднем 41,37 %.

Оценка абсолютного содержания воды в организме мужчин в онтогенетическом промежутке от юношеского до пожилого возраста варьирует от 42,15 до 43,51 кг без выраженных возрастных особенностей. Только у мужчин старше 75 лет выявляются меньшие значения абсолютной массы воды по сравнению со всеми предшествующими возрастными группами.

Более значимые связи с возрастом выявлены по относительному содержанию воды в организме, выраженному в процентах от массы тела. У мужчин юношеского возраста данный показатель составляет в среднем 61,93 %, что достоверно выше, чем у лиц первого зрелого возраста. Уже во втором зрелом возрасте доля воды достигает наименьших значений (55 %) и у пожилых мужчин сохраняется на том же уровне. Представители старческого возраста характеризуются самым высоким содержанием воды относительно общей массы тела.

Величина фазового угла не имеет достоверных различий у мужчин юношеского и первого зрелого возрастов. Однако уже во втором зрелом возрасте отмечается значительное его уменьшение от 7,65 до 6,98°. У пожилых мужчин фазовый угол имеет еще меньшие значения. Данный показатель в старческом возрасте характе-

ризуется тенденцией к более высоким значениям по сравнению с пожилыми обследованными, но не превышает показателей предыдущей группы [22; 32].

По уровню основного обмена также обнаружены различия между возрастными группами. Так, по абсолютным энергозатратам выявлена стойкая тенденция к их уменьшению уже во втором периоде зрелого возраста, в то время как между юношеским и первым зрелым возрастом различия несущественны. Статистически значимые различия зарегистрированы у пожилых мужчин, а самый низкий уровень обменных процессов отмечен в старческом возрасте. Иная картина возрастной изменчивости основного обмена выявлена при анализе данного показателя в перерасчете на площадь поверхности тела. В период от юношеского до пожилого возраста удельный обмен характеризуется уменьшением значений в 1,2 раза. Однако мужчины старческого возраста отличаются более высоким по сравнению с пожилыми уровнем удельного основного обмена, что сопоставимо с этим параметром у юношей.

В среде антропологов хорошо известно, что оценка состава тела, независимо от применяемой методики, требует дифференцированного подхода. Такой подход связан с неоднородным половозрастным и этническим составом популяции. Проведенное исследование позволило установить ряд закономерностей изменения состава тела человека от возраста и пола, показать возможность сравнения методически разноплановых способов оценки состава тела [32].

Таким образом, биоимпедансометрия является одним из популярных методов оценки состава тела человека, что предполагает ее широкое использование в различных областях превентивно-предиктивной и клинической медицины. В основе биоимпедансометрии лежит комплексное изучение состояния организма на доклинических стадиях развития заболевания, в период его развития и в процессе динамического наблюдения. Несомненно, биоимпедансометрия позволяет получить объективные научные данные при биомедицинской антропологии. В совокупности с фундаментальными морфологическими, функциональными и биохимическими методиками исследования биоимпедансометрия предоставляет возможности оценки индивидуально-типологических характеристик организма человека.

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. *Иванов Г. Г., Балуев Э. П., Петухов А. Б., Николаев Д. В.* Биоимпедансный метод определения состава тела // Вестник РУДН. Медицина. 2000. Вып. 3. С. 66–73.

3. *Мартиросов Э. Г., Николаев Д. В., Руднев С. Г.* Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 256 с.

4. *Руднев С. Г., Соболева Н. П., Стерликов С. А.* Биоимпедансное исследование состава тела населения России. М., 2014. 493 с.

5. *Hoffer E. C., Meador C. K., Simpson D. C.* Correlation of whole-body impedance with total body water volume // J. Appl. Physiol. 1969. Vol. 26. P. 531–534.

6. *Сакибаев К. Ш.* Анатомо-антропологические основы биоимпедансометрии в изучении состава тела в постнатальном онтогенезе // Журнал анатомии и гистопатологии. 2015. Т. 4, № 3. С. 106.

7. *Khalil S., Mohktar M., Idrahim F.* The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of disease // Sensors (Basel). 2014. Vol. 14, N 6. P. 10895–10928.

8. *Николаев Д. В.* Биоимпедансный анализ: основы метода. Протокол обследования и интерпретация результатов // Спортивная медицина: наука и практика. 2012. Вып. 2. С. 29–36.

9. *Ward L. C.* Segmental bioelectrical impedance analysis: an update // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care. 2012. Vol. 15, N 5. P. 424–429.

10. *Mateiega J.* The testing of physical efficienty // Am. J. Phys. Anthropol. 1921. Vol. 4, N 3. P. 223–230.

11. *Анисимова Е. А., Анисимов Д. И., Попрыга Д. В.* Взаимосвязь антропо- и биоимпедансных параметров взрослых женщин Среднего Поволжья // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5, № 7. С. 1012–1017.

12. *Анищенко А. П., Архангельская А. Н., Рогозная Е. В.* Сопоставимость антропометрических измерений и результатов биоимпедансного анализа // Вестник новых мед. технологий. 2016. Т. 23, № 1. С. 138–141.

13. *Никитюк Д. Б., Николенко В. Н., Клочкова С. В.* Индекс массы тела и другие антропологические показатели физического статуса с учетом возраста и индивидуально-типологических особенностей конституции женщин // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № 4. С. 47–54.

14. *Мартиросов Э. Г., Руднев С. Г., Николаев Д. В.* Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе. М.: Физическая культура, 2010. 119 с.

15. *Синдеева Л. В., Петрова М. М., Николаев В. Г.* Анатомические и биоимпедансометрические показатели — маркеры физического здоровья женского населения // Соврем. проблемы науки и образования. 2015. Вып. 5. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21638 (дата обращения: 14.12.2016).

16. *Николаев В. Г., Николаева Н. Н., Синдеева Л. В.* Антропологическое обследование в клинической практике. Красноярск: Версо, 2007. 173 с.

17. *Ghezzi F., Franchi M., Balestreri D., Lischetti B., Mele M. C., Alberico S., Bolis P.* Bioelectrical impedance analysis during pregnancy and neonatal birth weight // Eur. J. of Obstetr. & Gynecol. and Reproduct. Biol. 2001. Vol. 98, N 2. P. 171–176.

18. *Николаев Д. В., Смирнов А. В., Носков В. Б.* Методические вопросы биоимпедансного анализа состава тела и баланса водных секторов // Труды Шестой научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». М., 2004. С. 105–114.

19. *Николаев Д. В., Кротов В. П., Носков В. Б., Уткин М. М.* Спектр применения методик биоимпедансного анализа и новые возможности их использования в интенсивной терапии // Труды Седьмой научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». М., 2003. С. 301–309.

20. *Хрущева Ю. В., Зубенко А. Д., Чедия Е. С., Старунова О. А., Ерюкова Т. А., Николаев Д. В., Руднев С. Г.* Верификация и описание возрастной изменчивости биоимпедансных оценок основного обмена // Сб. трудов науч.-практ. конф. «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». М., 2009. С. 353–357.

21. *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, N 6. P. 509–516.

22. *Mara M., Caldara A., Montagnese C.* Bioelectrical impedance phase angle in constitutionally lean females, balet dancers and patients with anorexia nervosa // Eur. J. Clin. Nutr. 2009. Vol. 33, N 1. P. 905–908.

23. *Janssen I., Heymsfield S. B., Baumgartner R. N.* Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis // Am. J. Clin. Nutr. 2000. Vol. 89, N 2. P. 465–471.

24. *Нехаева Т. И.* Опыт применения биоимпеданного анализа в системе мониторинга здоровья представителей старших возрастных групп // Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: труды XIII науч.-практ. конф. М., 2011. С. 187–190.

25. *Гайворонский И. В.* Конституциональные особенности возрастных изменений минеральной плотности костной ткани у взрослых женщин Республики Карелии // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Серия 11. Медицина. 2014. Вып. 3. С. 158–164.

26. *Ellis K. J.* Human body composition: in vivo methods // Physiol. Rev. 2000. Vol. 80, N 2. P. 649–680.

27. *Eickemberg M., Oliveira C. C., Roriz A. K.* Bioelectrical impedance and visceral fat: a comparison with computed tomography in adults and elderly // Arch. Bras. Endocrinol. Metabol. 2013. Vol. 57, N 1. P. 27–32.

28. *Васильев А. В., Хрущева Ю. В., Попова Ю. П., Зубенко А. Д.* Одночастотный метод биоимпедансного анализа состава тела у больных с сердечно-сосудистой патологией — новые методические подходы // Труды Седьмой научно-практической конференции «Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы». М., 2005. С. 152–159.

29. *Бариева Ю. Б., Уварова Н. Г., Ботвинева Л. А.* Анализ показателей биоимпедансометрии у пациентов с метаболическим синдромом на фоне лечения в санатории «Дубовая роща» // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2015. Вып. 1. С. 56–58.

30. *Васильева Т. Е., Маринова Л. Г., Тихонова А. С.* Биоимпедансный анализ состава тела у детей школьного возраста с избыточным весом // Медицинская реабилитация в педиатрической практике: достижения, проблемы и перспективы. Киров, 2013. С. 56–63.

31. *Heymsfield S. B., Lohman T. G., Wang Z., Going S. B.* Human body composition (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics, 2005. 533 p.

32. *Николаев В. Г., Медведева Н. Н., Николенко В. Н.* Очерк интегративной антропологии. Красноярск: КрасГМУ, 2015. 326 с.

33. *Прусов П. К.* Взаимосвязи показателей биоимпеданса с физическим развитием и работоспособностью у юных спортсменов // Медицина для спорта: материалы I Всероссийского конгресса. М., 2011. С. 354–358.

34. *Русакова Д. С., Щербакова М. Ю., Гаппарова К. М.* Современные методы оценки состава тела // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. Вып. 8. С. 71–81.

35. *Постнова М. В.* Соматотипирование как подход к индивидуализации здоровьесберегающего сопровождения человека на этапах образования и профессионального самоопределения (обзор литературы) // Вестник Волгоградского гос. ун-та. Серия 11. Естественные науки. 2015. Вып. 2. С. 40–48.

36. *Торнуев Ю. В., Непомнящих Д. Л., Никитюк Д. Б.* Диагностические возможности неинвазивной биоимпедансометрии // Фундаментальные исследования. 2014. Вып. 10-4. С. 782–788.

37. *Kyle U. G., Genton L., Karsegard L., Slosman D. O., Pichard C.* Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–90 years // Nutrition. 2001. Vol. 17, N 3. P. 248–253.

38. *Егорова Л. А., Кузьмичева Н. А.* К вопросу о биологическом возрасте человека // Клиническая геронтология. 2008. Вып. 9. С. 90.

39. *Пашкова И. Г.* Характеристика анатомических компонентов тела и распределения соматотипов у девушек в условиях Карелии // Экология человека. 2011. Вып. 5. С. 24–30.

Для цитирования: *Гайворонский И. В., Ничипорук Г. И., Гайворонский И. Н., Ничипорук Н. Г.* Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы) // Вестник СПбГУ. Медицина. 2017. Т. 12. Вып. 4. С. 365–384.
https://doi.org/ 10.21638/11701/spbu11.2017.406

References

1. Nikolaev D. V., Smirnov A. V., Bobrinskaia I. G., Rudnev S. G. *Bioimpedansnyi analiz sostava tela cheloveka* [*Bioimpedance analysis of the body structure*]. Moscow, Nauka Publ., 2009. 392 p. (In Russian)

2. Ivanov G. G., Baluev E. P., Petukhov A. B., Nikolaev D. V. Bioimpedansnyi metod opredeleniia sostava tela [Bioimpedance method for the definition of the body structure]. *RUDN Journal of Medicine*, 2000, issue 3, pp. 66–73. (In Russian)

3. Martirosov E. G., Nikolaev D. V., Rudnev S. G. *Tekhnologii i metody opredeleniia sostava tela cheloveka* [*Technologies and methods of definition of the body structure*]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 256 p. (In Russian)

4. Rudnev S. G., Soboleva N. P., Sterlikov S. A. *Bioimpedansnoe issledovanie sostava tela naseleniia Rossii* [*Bioimpedance research of the body structure of the Russian population*]. Moscow, 2014. 493 p. (In Russian)

5. Hoffer E. C., Meador C. K., Simpson D. C. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.*, 1969, vol. 26, pp. 531–534.

6. Sakibaev K. Sh. Anatomo-antropologicheskie osnovy bioimpedansometrii v izuchenii sostava tela v postnatal'nom ontogeneze [Anatomo-anthropological bases of a bioimpedansometry in studying of the body structure in a post-natal ontogenesis]. *Journal of anatomy and histopathology*, 2015, vol. 4, no. 3, p. 106. (In Russian)

7. Khalil S., Mohktar M., Idrahim F. The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of disease. *Sensors (Basel)*, 2014, vol. 14, no. 6, pp. 10895–10928.

8. Nikolaev D. V. Bioimpedansnyi analiz: osnovy metoda. Protokol obsledovaniia i interpretatsiia rezul'tatov [Bioimpedance analysis: method bases. Protocol of inspection and interpreting of results]. *Sportivnaia meditsina: nauka i praktika* [*Sports Medicine: Research and Practice*], 2012, issue 2, pp. 29–36. (In Russian)

9. Ward L. C. Segmental bioelectrical impedance analysis: an update. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 2012, vol. 15, no. 5, pp. 424–429.

10. Mateiega J. The testing of physical efficienty. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1921, vol. 4, no. 3, pp. 223–230.

11. Anisimova E. A., Anisimov D. I., Popryga D. V. Vzaimosviaz' antropo- i bioimpedansnykh parametrov vzroslykh zhenshchin Srednego Povolzh'ia [Interconnection of anthropo- and bioimpedance parameters of adult women of Central Volga area]. *Biulleten' meditsinskikh internet-konferentsii* [*Bulletin medical Internet conferences*], 2015, vol. 5, no. 7, pp. 1012–1017. (In Russian)

12. Anishchenko A. P., Arkhangel'skaia A. N., Rogoznaia E. V. Sopostavimost' antropometricheskikh izmerenii i rezul'tatov bioimpedansnogo analiza [Comparability of anthropometric measurements and results of the bioimpedance analysis]. *Journal of new medical technologies*, 2016, vol. 23, no. 1, pp. 138–141. (In Russian)

13. Nikitiuk D. B., Nikolenko V. N., Klochkova S. V. Indeks massy tela i drugie antropologicheskie pokazateli fizicheskogo statusa s uchetom vozrasta i individual'no-tipologicheskikh osobennostei konstitutsii zhenshchin [Index of body weight and other anthropological indicators of the physical status taking into account age and individual and typological features of the constitution of women]. *Problems of nutrition*, 2015, vol. 84, no. 4, pp. 47–54. (In Russian)

14. Martirosov E. G., Rudnev S. G., Nikolaev D. V. *Primenenie antropologicheskikh metodov v sporte, sportivnoi meditsine i fitnese* [*Use of anthropological methods in sport, sports medicine and fitness: manual for students of higher education institutions*]. Moscow, Fizicheskaia Kul'tura Publ., 2010. 119 p. (In Russian)

15. Sindeeva L. V., Petrova M. M., Nikolaev V. G. Anatomicheskie i bioimpedansometricheskie pokazateli — markery fizicheskogo zdorov'ia zhenskogo naseleniia [Anatomic and bioimpedansometrical indicators — markers of physical health of female population]. *Modern problems of science and education*, 2015, issue 5. Available at: http://wwww.science-education.ru/ru/article/view?id=21638 (accessed: 14.12.2016). (In Russian)

16. Nikolaev V. G., Nikolaeva N. N., Sindeeva L. V. *Antropologicheskoe obsledovanie v klinicheskoi praktike* [*Anthropological inspection in clinical practice*]. Krasnoiarsk: Verso Publ., 2007. 173 p. (In Russian)

17. Ghezzi F., Franchi M., Balestreri D., Lischetti B., Mele M. C., Alberico S., Bolis P. Bioelectrical impedance analysis during pregnancy and neonatal birth weight. *Eur. J. of Obstetr. & Gynecol. and Reproduct. Biol.*, 2001, vol. 98, no. 2, pp. 171–176.

18. Nikolaev D. V., Smirnov A. V., Noskov V. B. Metodicheskie voprosy bioimpedansnogo analiza sostava tela i balansa vodnykh sektorov [Methodical questions of the bioimpedance analysis of the body structure and balance of water sectors]. *Trudy shestoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Diagnostika i lechenie narushenii reguliatsii serdechno-sosudistoi sistemy»* [*Works of the sixth scientific and practical conference "Diagnostics and Treatment of Disturbances of a Regulation of Cardiovascular System"*]. Moscow, 2004, pp. 105–114. (In Russian)

19. Nikolaev D. V., Krotov V. P., Noskov V. B., Utkin M. M. Spektr primeneniia metodik bioimpedansnogo analiza i novye vozmozhnosti ikh ispol'zovaniia v intensivnoi terapii [Spectrum of use of techniques of the bioimpedance analysis and new opportunities of their use in an intensive care]. *Trudy sed'moi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Diagnostika i lechenie narushenii reguliatsii serdechno-sosudistoi sistemy»* [*Works of the seventh scientific and practical conference "Diagnostics and Treatment of Disturbances of a Regulation of Cardiovascular System"*]. Moscow, 2003, pp. 301–309. (In Russian)

20. Khrushcheva Iu. V., Zubenko A. D., Chediia E. S., Starunova O. A., Eriukova T. A., Nikolaev D. V., Rudnev S. G. Verifikatsiia i opisanie vozrastnoi izmenchivosti bioimpedansnykh otsenok osnovnogo obmena [Verification and description of age variability of bioimpedance estimates of the main exchange]. *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii «Diagnostika i lechenie narushenii reguliatsii serdechno-sosudistoi sistemy»* [*Storage of works of scientific and practical conference "Diagnostics and treatment of disturbances of a regulation of cardiovascular system"*]. Moscow, 2009, pp. 353–357. (In Russian)

21. 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, no. 6, pp. 509–516.

22. Mara M., Caldara A., Montagnese C. Bioelectrical impedance phase angle in constitutionally lean females, balet dancers and patients with anorexia nervosa. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2009, vol. 33, no. 1, pp. 905–908.

23. Janssen I., Heymsfield S. B., Baumgartner R. N. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2000, vol. 89, no. 2, pp. 465–471.

24. Nekhaeva T. I. Opyt primeneniia bioimpedannogo analiza v sisteme monitoringa zdorov'ia predstavitelei starshikh vozrastnykh grupp [Experience of use of the bioimpedance analysis in system of monitoring of health of people of the senior age groups]. *Diagnostika i lechenie narushenii reguliatsii serdechno-sosudistoi sistemy: trudy XIII nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Diagnostics and treatment of disturbances of a regulation of cardiovascular system: Works of the XIII scientific and practical conference*]. Moscow, 2011, pp. 187–190. (In Russian)

25. Gaivoronskiy I. V. Konstitutsional'nye osobennosti vozrastnykh izmenenii mineral'noi plotnosti kostnoi tkani u vzroslykh zhenshchin Respubliki Karelii [Constitutional features of age changes of mineral density of a bone tissue at adult women of the Republic of Karelia]. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 11. Medicine*, 2014, issue 3, pp. 158–164. (In Russian)

26. Ellis K. J. Human body composition: in vivo methods. *Physiol. Rev.*, 2000, vol. 80, no. 2, pp. 649–680.

27. Eickemberg M., Oliveira C. C., Roriz A. K. Bioelectrical impedance and visceral fat: comparison with computed tomography in adults and elderly. *Arch. Bras. Endocrinol. Metabol.*, 2013, vol. 57, no. 1, pp. 27–32.

28. Vasil'ev A. V., Khrushcheva Iu. V., Popova Iu. P., Zubenko A. D. Odnochastotnyi metod bioimpedansnogo analiza sostava tela u bol'nykh s serdechno-sosudistoi patologiei — novye metodicheskie podkhody [A single-frequency method of the bioimpedance analysis of the body structure at patients with cardiovascular

pathology — new methodical approaches]. *Trudy sed'moi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Diagnostika i lechenie narushenii reguliatsii serdechno-sosudistoi sistemy»* [*Works of the seventh scientific and practical conference "Diagnostics and Treatment of Disturbances of a Regulation of Cardiovascular System"*]. Moscow, 2005, pp. 152–159. (In Russian)

29. Barieva Iu. B., Uvarova N. G., Botvineva L. A. Analiz pokazatelei bioimpedansometrii u patsientov s metabolicheskim sindromom na fone lecheniia v sanatorii «Dubovaia roshcha» [The analysis of indicators of a bioimpedansometry at patients with a metabolic syndrome after the treatment in sanatorium "Oak grove"]. *Kremlevskaia meditsina. Klinicheskii vestnik* [*The Kremlin medicine. Clinical Bulletin*], 2015, issue 1, pp. 56–58. (In Russian)

30. Vasil'eva T. E., Marinova L. G., Tikhonova A. S. Bioimpedansnyi analiz sostava tela u detei shkol'nogo vozrasta s izbytochnym vesom [The bioimpedance analysis of the body structure at children of school age with an excess weight]. *Meditsinskaia reabilitatsiia v pediatricheskoi praktike: dostizheniia, problemy i perspektivy* [*Medical aftertreatment in pediatric practice: achievements, problems and prospects*]. Kirov, 2013, pp. 56–63. (In Russian)

31. Heymsfield S. B., Lohman T. G., Wang Z., Going S. B. *Human body composition*, 2nd ed., Champaign, Human Kinetics, 2005. 533 p.

32. Nikolaev V. G., Medvedeva N. N., Nikolenko V. N. *Ocherk integrativnoi antropologii* [*Sketch of integrative anthropology*]. Krasnoiarsk: KrasGMU Publ., 2015. 326 p. (In Russian)

33. Prusov P. K. Vzaimosviazi pokazatelei bioimpedansa s fizicheskim razvitiem i rabotosposobnost'iu u iunykh sportsmenov [Interrelations of indicators of a bioimpedance with physical development and working capacity at juvenile athletes]. *Meditsina dlia sporta: materialy I Vserossiiskogo kongressa* [*Medicine for sport: materials of the first all-Russian congress*]. Moscow, 2011, pp. 354–358. (In Russian)

34. Rusakova D. S., Shcherbakova M. Iu., Gapparova K. M. Sovremennye metody otsenki sostava tela [Modern methods of assessment of the body structure]. *Eksperimental'naia i klinicheskaia gastroenterologiia* [*Exsperimental and Clinical Gastroenterology*], 2012, issue 8, pp. 71–81. (In Russian)

35. Postnova M. V. Somatotipirovanie kak podkhod k individualizatsii zdorov'esberegaiushchego soprovozhdeniia cheloveka na etapakh obrazovaniia i professional'nogo samoopredeleniia (obzor literatury). [Somatic typing as an approach to the individualization of health care support at the stages of education and professional self-identity (literature review). *Vestnik of Volgograd State University. Series 11. Natural sciences*, 2015, issue 2, pp. 40–48. (In Russian)

36. Tornuev Iu. V., Nepomniashchikh D. L., Nikitiuk D. B. Diagnosticheskie vozmozhnosti neinvazivnoi bioimpedansometrii [Diagnostic opportunities of a noninvasive bioimpedansometry]. *Fundamental research*, 2014, issue 10-4, pp. 782–788. (In Russian)

37. Kyle U. G., Genton L., Karsegard L., Slosman D. O., Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20–90 years. *Nutrition*, 2001, vol. 17, no. 3, pp. 248–253.

38. Egorova L. A., Kuz'micheva N. A. K voprosu o biologicheskom vozraste cheloveka [To a question of a biological age of the person]. *Clinical gerontology*, 2008, issue 9, p. 90. (In Russian)

39. Pashkova I. G. Kharakteristika anatomicheskikh komponentov tela i raspredeleniia somatotipov u devushek v usloviiakh Karelii [The characteristic of anatomic components of a body and distribution of somatotip at girls from Karelia]. *Human Ecology*, 2011, issue 5, pp. 24–30. (In Russian)

For citation: Gaivoronskiy I. V., Nichiporuk G. I., Gaivoronskiy I. N., Nichiporuk N. G. Bioimpedansometry as a method of the component bodystructure assessment (review). *Vestnik SPbSU. Medicine, 2017*, vol. 12, issue 4, pp. 365–384. https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2017.406

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2017 г.
Статья принята в печать 11 сентября 2017 г.

Контактная информация:

Гайворонский Иван Васильевич — доктор медицинских наук, профессор; i.v.gaivoronsky@mail.ru
Ничипорук Геннадий Иванович — кандидат медицинских наук, доцент; nichiporuki120 @mail.ru
Гайворонский Иван Николаевич — xgenom@mail.ru
Ничипорук Наталья Геннадьевна — natashanich777@mail.ru

Gaivoronskiy Ivan V. — MD, professor; i.v.gaivoronsky@mail.ru
Nichiporuk Gennadiy I. — PhD, associate professor; nichiporuki120@mail.ru
Gaivoronskiy Ivan N. — xgenom@mail.ru
Nichiporuk Natalya G. — natashanich777@mail.ru