

УДК 612.015.2:612.6]:614.2

*Л. А. БЕЛАЯ, В. А. МЕЛЬНИК, С. Н. МЕЛЬНИК, А. А. КОЗЛОВСКИЙ*

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОИМПЕДАНСНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

*Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

Статья представляет собой аналитический обзор литературы по результатам современных исследований, в которых используется биоимпедансометрия в практике. Анализ отечественных и зарубежных источников показывает целесообразность и широкие возможности изучения электрического сопротивления биологических тканей и сред в различных областях медицины. Большинство работ посвящено прикладному значению метода для характеристики нутритивного статуса как показателя комплексной оценки физического развития и состояния здоровья человека, ранней диагностики патологии органов и систем, достоверного критерия эффективности терапии и прогноза заболевания. В обзоре представлены работы, характеризующие биоимпедансометрию как перспективный метод превентивной диагностики, который обладает такими преимуществами, как неинвазивность и безболезненность процедуры, портативность, возможность безопасного повторения исследования в динамике, особенно актуально в педиатрической практике. Авторы предлагают включить данный метод в стандарты обследования населения с целью оценки состояния и мониторинга здоровья [1, 2].

*Ключевые слова:* биоимпедансный анализ, физическое развитие, антропометрические измерения, компонентный состав тела.

**Введение.** Важным критерием здоровья человека и показателем здоровья нации является физическое развитие (ФР). Это закономерный процесс изменения морфологических и функциональных особенностей организма, который связан с возрастом, полом, состоянием здоровья, наследственностью и условиями жизни [3]. Одним из ведущих показателей здоровья является ФР, по которому оценивается благополучие школьников и соответствие условий их обучения и воспитания морфофункциональным особенностям данного возраста. Высокий уровень здоровья является основой для эффективного процесса становления личности. Поэтому в образовательных учреждениях необходимо уделять внимание вопросам здоровья детей на всех этапах образовательного процесса [4]. По данным Минздрава России, лишь 14 % детей практически здоровы, более 50 % имеют функциональные отклонения, а 35–40 % – хронические заболевания [5].

Систематические антропометрические измерения детей позволяют своевременно выявлять нарушения ФР, такие как отставание в росте, отсутствие прибавки в массе и т. п., которые могут быть признаками различных заболеваний. Для ранней диагностики метаболических заболеваний применяется программа диагностики состава тела – биоимпедансный анализ (БИА).

Этот метод позволяет на основе измеренных значений электрического сопротивления тела и антропометрических данных оценить абсолютные и относительные значения параметров состава тела, соотнести их с нормальными значениями, оценить резервные возможности организма и риски развития ряда заболеваний [6].

В БИА измеряются активное и реактивное сопротивление тела человека, на основе которых рассчитываются характеристики состава тела: жировая, костная и мышечная масса, объем воды в организме и основной обмен. Биоимпедансный метод состава тела помогает контролировать состояние липидного, белкового и водного обмена организма, оценивать

риск развития метаболического синдрома, степень гидратации тканей, служит инструментом диагностики больных ожирением. Он используется для подбора лечебного питания в диетологии, оценки эффективности диетологических мероприятий, прогнозирования ряда заболеваний и выявления различных неблагоприятных изменений в организме [7, 8].

Целью исследования является систематизация и анализ отечественных и зарубежных литературных источников при использовании биоимпедансного анализа для оценки показателей физического развития и состояния здоровья человека. В статье проведен анализ научных публикаций в системах PubMed, Web of Science и других, описывающих случаи применения биоимпедансного метода для оценки компонентного состава тела человека, состояния его здоровья.

**История биоимпедансного анализа.** История изучения электрической проводимости биологических объектов началась в 1880 году с работ Томсона В. В начале и середине XX века были получены основополагающие результаты в этой области, включая установление типичных значений удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости тканей, органов и жидких сред живого организма. С этими достижениями связаны имена Фрике Г., Коула К., Тарусова Б. Н., Шванна Г. и других исследователей [2, 9].

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 сопротивление. Субстратом активного сопротивления являются биологические жидкости (вне- и внутриклеточная), обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления являются клеточные мембраны. Для оценки общей воды организма, безжировой мышечной массы, скелетно-мышечной массы, а также внеклеточной жидкости используются значения активного сопротивления, разные по частоте [2, 10].

В России БИА начал развиваться в 1930-х годах благодаря работам Тарусова Б. Н. и других ученых. История российских исследований и разработок в области БИА насчитывает более 70 лет. В 1934 и 1938 гг. советский ученый Тарусов Б. Н. представил первые работы по этой теме. И тогда же небольшими партиями начался выпуск биоимпедансной аппаратуры для оценки приживаемости трансплантатов на основе данных об их электрической проводимости [10, 11].

Однако следует отметить, что исторически началом применения биоимпедансометрии на практике с целью определения компонентов состава тела человека считается вторая половина XX века. В 1962 году Thomasset M. использовал метод для контроля объема мышечной массы у спортсменов. Он с помощью двух игл, введенных под кожу, определил общее содержание воды в организме на основе показателей электрического импеданса. Данное исследование французского анестезиолога позволило связать параметры тела человека и электрический импеданс. Он позволял объективно контролировать объем мышечной массы у спортсмена, его физическую активность и выносливость [12].

В 1969 году Hoffer E. и соавторы показали высокую корреляцию между индексом импеданса и величиной общего содержания воды в организме (ОВО), что открыло возможности для применения метода в исследованиях состава тела. Эмпирически получена формула расчета ОВО:  $Z = \text{рост}^2 / \text{импеданс}$ . Коэффициент корреляции с общим содержанием воды в организме при этом составлял 0,92. В настоящее время уравнение, полученное Hoffer E., более известно как индекс импеданса [13].

Первые серийные биоимпедансные анализаторы появились в США в конце 1970-х годов. Позже в своих работах Lukaski H., Kushner R. и Schoeller D. эмпирическим путем модифицировали уравнение с учетом таких параметров, как индекс импеданса, масса тела, пол и реактивное сопротивление.

В 1992 г. Kushner R. опубликовал статью, в которой утверждал, что с геометрической точки зрения человеческое тело – это не изотропный проводник с равномерной длиной и площадью поперечного сечения, как считалось ранее. Он предложил рассматривать тело человека как пять различных цилиндров (исключая голову): две руки, две ноги, туловище [14, 15].

В 1996 г. южнокорейский ученый, выпускник Гарварда, доктор Ki-Chul Cha основал компанию «InBody» (Южная Корея) и разработал первый в мире восьмиполярный биоимпедансный анализатор. При этом измерение на приборе производилось с использованием восьми тактильных электродов: одни находились в контакте с ладонью и I пальцем каждой руки, другие – с передней и задней поверхностями подошвы каждой стопы. Это позволило не использовать специфичные формулы для точной оценки общей воды организма и внеклеточной жидкости.

В 2004–2009 гг. в ГУ НИИ питания РАМН проводилась верификация оценок жировой массы и основного обмена (ОО), получаемых отечественным биоимпедансным анализатором АВС-01 «Медасс». В качестве эталона использовали данные рентгеновской денситометрии и непрямой калориметрии для тех же пациентов.

Таким образом, начиная с 1960-х годов и до сегодняшнего дня, метод БИА анализа, основанный на измерении электрической проводимости различных тканей человека, используется специалистами в течение более чем 65 лет в разнообразных сферах деятельности, включая медицину, спорт, образование, науку, космическую и военную деятельность и другие [16].

Антропометрические измерения являются простым и доступным методом, позволяющим оценить не только массу тела, но и другие показатели. При определении состава тела на основе антропометрических методов используют общие размеры (масса, длина тела), обхватные размеры частей тела и сегментов конечностей, а также кожно-жировых складок на определенных участках тела.

Однако главными недостатками антропометрических методов являются невозможность оценить количество тощей массы и дифференцировать подкожную и висцеральную жировую ткань [2, 10]. Простое соотношение индивидуальных показателей и расчетных антропометрических индексов в ряде случаев оказываются малоинформативными, а наиболее полные сведения о физическом развитии человека дает БИА, который не может использоваться без проведения антропометрии обследуемого [17].

**Биоимпедансный метод.** Метод БИА состава тела основан на существовании объективных и стабильных взаимосвязей между измеренными значениями импеданса и параметрами состава тела. Эти взаимосвязи выводятся как из физических моделей тела или его сегментов, так и из статистических зависимостей между антропометрическими, физическими и другими переменными, характеризующими человеческий организм.

Биоимпедансный метод компонентного состава тела в первую очередь направлен на оценку количества жидкости в организме, поскольку именно жидкая среда создает активную составляющую проводимости. Оценка объема жидкости в организме по импедансу осуществляется с использованием физических и/или эмпирических моделей [18].

Электрический импеданс биологических объектов измеряется с помощью специальных устройств – биоимпедансных анализаторов. Биоимпедансный метод классифицируется по трем признакам: по частоте зондирующего тока – одночастотные, двухчастотные, многочастотные; по объекту измерений – интегральные, локальные, полисегментные и по тактике измерений – одноразовые, эпизодические, мониторинговые. Для описания состава тела чаще всего используются двух или четырех параметрические модели, при которых электроды устанавливаются на голеностопах и запястьях. Перед процедурой биоимпедансного обследования проводят необходимые замеры: определяют рост, вес, обхваты талии и бедер. Все данные, включая фамилию, имя, отчество, пол и дату рождения обследуемого, вносят в базу компьютерной программы. Во время процедуры пациент лежит

на спине, изолированный 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 снимают часы, цепочки, кольца и браслеты из металла, а металлические предметы на шею сдвигают к подбородку. Участки кожи перед прикреплением электродов протирают спиртом. По завершении диагностики пациенту выдают протокол со всеми показателями, которые отражаются не только в текстовом, но и в графическом и схематическом форматах. Полученные данные сохраняются для последующего контроля и оценки функционального состояния организма в динамике после окончания курса лечения, назначенного врачом [19].

Для измерения величин при биоимпедансометрии используются термины, взятые из теории электрических цепей переменного тока: импеданс, активное и реактивное сопротивление. Импеданс  $Z$  – это полное электрическое сопротивление тканей, которое состоит из двух компонентов: активного  $R$  и реактивного сопротивления  $X$ . Активное сопротивление биологического объекта, которым в БИА является участок тела человека между правой кистью и правой стопой, включает в себя электрические сопротивления всех жидкостей, находящихся на пути измерительного тока. Реактивное сопротивление биологического объекта – это общее емкостное сопротивление всех клеточных мембран, расположенных на пути измерительного тока.

Метод БИА не имеет противопоказаний, кроме наличия у пациента кардиостимулятора. Достоверность измерений при проведении биоимпедансного исследования определяется: положением тела, состоянием гидратации, потреблением пищи или напитков, температурой окружающего воздуха и поверхности кожи, физической активностью.

При проведении биоимпедансометрии проводится расчет целого ряда показателей, характеризующих ОО, активную клеточную массу, жировую и безжировую массы, общее содержание воды, внеклеточная и внутриклеточная жидкость в организме, скелетно-мышечная масса, доля скелетно-мышечной масс) и расчет величины фазового угла (ФУ) импеданса [2, 9, 10, 19].

Основной обмен веществ (ккал) – это энерготраты организма в состоянии полного покоя, обеспечивающие функции всех органов и систем и поддержание температуры тела.

Значимой характеристикой интенсивности обменных процессов в организме является активная клеточная масса – та часть тощей массы, которая образована клетками, потребляющими основную долю кислорода и энергии, выделяющими основную часть углекислого газа и производящими метаболическую работу.

Жировая масса тела – суммарная масса жировых клеток в организме. Жировая ткань является важным компонентом состава тела человека. Жировая ткань рассматривается как метаболически активный орган, секретирующий ряд биологически активных веществ, таких как лептин, адипонектин, интерлейкины, эстрогены, резистин и другие, которые, в свою очередь, являются связующим звеном между ожирением и метаболическими нарушениями [20, 9, 10].

Кроме определения общего количества жировой массы, рассчитывают индекс массы жировой ткани, который более точно отражает степень избытка жировой ткани, чем абсолютное количество жировой массы. Формула расчета и жировой массы аналогична расчету индексу массы тела (ИМТ) и отличается лишь тем, что учитывает не общий вес человека, а только количество жира. В настоящее время накоплена значительная база данных, подтверждающих, что избыточное количество жировой массы вносит определенный вклад в развитие целого ряда хронических неинфекционных заболеваний.

Безжировая масса – часть массы тела, включающая в себя все, что не является жиром: мышцы, все органы, мозг, нервы, кости и все жидкости, находящиеся в организме.

Одной из составляющих безжировой массы является скелетно-мышечная масса. Отношение скелетно-мышечной массы к массе тела у взрослых людей составляет в норме 40-45 % у мужчин и 30–35 % у женщин, и с возрастом снижается.

Общая вода организма состоит из внеклеточной и внутриклеточной жидкостей, находящихся в организме в связанном состоянии.

Внутриклеточная жидкость – это фракции организма, не заключенные в клеточные мембраны (лимфа, интерстициальная и плазматическая жидкости). Общее количество воды в организме детей относительно больше, чем у взрослых. Чем меньше ребенок, тем больший доля (%) жидкости в его организме. [19].

Наряду с характеристикой компонентного состава тела, для оценки функционального состояния организма, интенсивности обменных процессов и нарушений нутритивного статуса в БИА используется величина фазового угла биоимпеданса, определяемая как арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений. ФУ характеризует сдвиг фазы переменного тока относительно напряжения. На основании результатов сравнительного анализа выборок здоровых людей и пациентов с хроническими заболеваниями, спортсменов была предложена интервальная классификация значений ФУ [4]. Он считается показателем тренированности и выносливости организма, по его величине в спорте высших достижений оценивается предстартовая готовность спортсмена. Высокие значения ФУ характерны для спортсменов во многих видах спорта. С возрастом, при наличии хронических заболеваний с преобладанием катаболических процессов в организме (онкология, туберкулез, цирроз печени и др.), дефиците питательных веществ этот показатель уменьшается. Очень низкие значения ФУ у пациентов с хроническими заболеваниями высоко коррелируют с плохим прогнозом [21].

Последовательность выполнения БИА: 1) определение антропометрических показателей (масса тела, рост, ИМТ, окружность талии и бедер); 2) измерение активного и реактивного сопротивления с помощью биоимпедансометра; 3) расчет по соответствующим формулам параметров состава тела и интенсивности обмена веществ; 4) определение диапазона нормальных значений с учетом возраста, пола и этнической принадлежности пациента; 5) анализ полученных данных и заключение [10].

Применение биоимпедансометрии в медицине и антропологии. Биоимпедансометрия представляет собой метод оценки состава тела человека, который активно применяется в различных областях медицины. Она позволяет получать объективные научные данные для биомедицинской антропологии. В сочетании с другими методами исследования, такими как морфологические, функциональные и биохимические, биоимпедансометрия может предоставить информацию об индивидуальных характеристиках организма человека. Использование биоимпедансной диагностики в клинической практике способствует раннему выявлению висцерального ожирения и проведению профилактических мероприятий для предотвращения метаболических осложнений.

В клинической медицине БИА, который используется для неинвазивной оценки жировой и безжировой массы, нашел свое применение в эндокринологии для определения метаболического статуса и является одним из методов диагностики и оценки эффективности лечения больных ожирением. Оценка внутриклеточной, внеклеточной и интерстициальной жидкости методом биоэлектрического импеданса дает возможность применять его в хирургии, кардиохирургии, комбустиологии, травматологии, реаниматологии и других областях клинической медицины. При перитоните, панкреатите, тромбозе воротной вены, кишечной непроходимости, обширных ожогах, травмах с размозжением тканей большое значение имеет нарушение водно-электролитного баланса, который трудно поддается коррекции в этих условиях [22].

Исследование биоимпедансометрии, проведенное среди детей, подвергающихся кардиохирургическим операциям, показало, что чем младше ребенок и дольше продолжительность операции в условиях искусственного кровообращения, тем больше

увеличивается уровень общего содержания воды в организме к концу операции. Это требует корректировки инфузионной терапии, которую получает ребенок.

Биоимпедансная диагностика используется не только в медицинских целях, но и в спортивной медицине. В частности, она помогает оценить состав тела здоровых детей, занимающихся различными видами физической активности. Также биоимпедансная диагностика применяется для изучения особенностей состава тела у детей с определенными заболеваниями, такими как белково-энергетическая недостаточность, неврогенная анорексия, находящиеся на системном гемодиализе, а также у детей с различной массой тела [23].

Для оценки состава тела БИА применяется в онкологии и гематологии. В некоторых случаях вес может соответствовать возрастной норме, однако большая часть этого веса может приходиться на задержку жидкости в организме. Это особенно актуально для пациентов, проходящих химио-радиотерапию, страдающих хроническими заболеваниями почек или системными васкулитами.

Биоимпедансный метод действительно является эффективным инструментом для оценки состояния здоровья и выявления возможных рисков развития различных заболеваний для человека. Он позволяет определить состав тела, включая процент жира, мышечной массы и воды, а также оценить метаболический статус организма. На основе этих данных можно разработать индивидуальный план тренировок и питания, который поможет улучшить здоровье и предотвратить развитие заболеваний [24].

В последние годы наблюдается значительный рост числа научных исследований, посвященных использованию БИА для изучения композитного состава тела и объективной оценки нутритивного статуса человека. Этот метод стал широко применяться в медицине, спорте, диетологии и других областях, где важно понимать соотношение различных компонентов тела, таких как вода, жир, мышцы и кости [2].

Согласно Миклашевской Н. Н., показатели ФР являются ключевой характеристикой организма, и их значительные изменения могут свидетельствовать о потенциальных рисках для здоровья. Необходимость постоянного мониторинга взаимосвязей между ФР, здоровьем и заболеваемостью обусловлена тем, что ФР тесно связано со здоровьем, поскольку серьезные заболевания могут негативно повлиять на процесс ФР, а ФР, в свою очередь, может оказать влияние на течение и исход болезни [25].

Исследователи, начиная с 30-х гг. XX в., отмечали, что у городских детей по сравнению с сельскими наблюдаются лучшие показатели ФР: больше длина и масса тела, сильнее выражено жировотложение и т. д. Это явление связывается с более благоприятными условиями жизни городского населения, в том числе с лучшим качеством питания, более высоким уровнем санитарно-гигиенического состояния и медицинского обслуживания. В литературе отмечается повышение показателей ФР у городских детей, сельские же дети характеризуются лучшими функциональными показателями [26].

В работах Чепеля Т. В. и Ладной А. А. показано, что изучение электрического сопротивления биологических тканей и сред имеет широкое применение в различных областях медицины. Особенно много работ посвящено изучению нутритивного статуса как показателя комплексной оценки ФР и состояния здоровья человека, ранней диагностики патологии органов и систем, а также оценке эффективности терапии и прогноза заболевания [9].

В отечественной и мировой литературе широко представлены работы Гайворонского И. В. и его коллег, которые подробно описали основные параметры, оцениваемые методом биоимпедансометрии, такие как общее количество жидкости в организме, ИМТ, скорость ОО, костная и жировая массы, уровень ФР и другие. Они также отметили, что эти параметры могут варьироваться в зависимости от пола и возраста. Кроме того, авторы определили показания и противопоказания к использованию данного метода, а также методику и технику его выполнения [2].

Гирш Я. В. и Герасимчик О. А. провели исследования, в которых показали, что современные достижения в области изучения состава тела тесно связаны с развитием наукоемких технологий. Они доказали, что БИА является достаточно надежным методом при условии соблюдения методических рекомендаций. Использование современного программного обеспечения для длительного динамического контроля состава тела позволяет избежать методических погрешностей благодаря дополнительным антропометрическим данным. Учитывая отсутствие необходимости инвазивных процедур, достаточную точность, простоту использования и экономичность, комфортность процедуры измерений для пациента и удобство автоматической обработки результатов для врача, этот метод становится все более популярным в медицинской практике [27].

Исследования, проведенные Дружининой Н.А. и ее соавторами, показали, что у детей с рецидивирующей респираторной патологией снижение иммунологической реактивности связано с параметрами нутритивного статуса. У этой категории пациентов недостаточность питания характеризуется достоверно низким уровнем безжировой массы и активной клеточной массы, согласно данным биоимпедансометрии. Авторы пришли к выводу, что включение БИА в программу обследования позволит своевременно диагностировать и корректировать тканевой дисбаланс компонентного состава тела у детей [28].

В работе Bosy-Westphal А. с соавторами представлена характеристика изменчивости ФУ импеданса в зависимости от возраста и пола на основе данных биоимпедансного обследования 230 тысяч жителей Германии. Было установлено, что в возрасте 20–55 лет «российские» значения ФУ близки к «швейцарским», а в более старшем возрасте – к «американским» образца 1988–1994 годов. Величина ФУ импеданса имеет высокую корреляцию с процентным содержанием активной клеточной массы в безжировой массе тела. Следовательно, повышенные значения ФУ, при прочих равных условиях, отражают более высокий уровень функциональных возможностей организма [29].

В другой работе Чепель Т. В. и Ладная А. А. провели анализ исследований 540 детей школьного возраста Дальневосточного региона, в результате которого было выявлено снижение жировой массы тела у детей и подростков. У 45,8–76 % детей и подростков были диагностированы нормальные показатели безжировой массы тела, что позволило считать их нутриционный статус соответствующим возрасту. Нормальное значение общей воды имели 60,2 % пациентов, с превышением этого показателя более 44 % у девочек, что расценивалось как склонность к водно-электролитным нарушениям. Также были отмечены нормальные показатели активной клеточной массы у 71 % школьников [9].

Н. McCarthy и соавторы провели БИА у 1985 детей и подростков европейской популяции с нормальной массой тела и создали перцентильные кривые для оценки тощей массы тела [2].

В статье Бобринской И.Г., Билаловой Э.Ф., Мороз В.В. для оценки гидратации тканей головного мозга использовался анализатор АВС-01 «Медасс» с программой 6-частотного анализа АВС01-0212. Коэффициент гидратации вычислялся как отношение импедансов тканей на частотах 5 и 20 кГц для характеристики интерстициального пространства мозга, на частотах 50 и 500 кГц – для оценки внутриклеточного пространства, и на частотах 5 и 500 кГц – для оценки общей гидратации головного мозга. Корреляционный анализ показал наличие связи между балльной оценкой отека мозга по КТ и коэффициентом гидратации. Это подтверждает объективность и правильность оценки гидратации мозга методом биоимпедансометрии [30].

Абдуллаев А. Н. и его коллеги оценили нутритивный статус школьников города Екатеринбурга с помощью биоимпедансометрии и определения индекса массы тела. Они обнаружили, что частота встречаемости избыточной массы тела выше у детей препубертатного возраста и чаще у мальчиков. Метод биоимпедансометрии позволил выявить нарушение нутритивного статуса у 39 % обследованных детей, как в сторону избытка массы тела, так и его дефицита. У всех подростков с ожирением были обнаружены

низкие значения активной клеточной массы в сочетании с низкой физической активностью. По показателю медианы жировой массы тела школьники города Екатеринбурга не отличались от своих сверстников из других регионов России [21].

Анищенко А.П. считает, что результаты антропометрических исследований и БИА сопоставимы. Однако, антропометрические исследования приемлемы для эпидемиологического анализа, но не для расчета индивидуального риска. Более правильным будет использование БИА, который имеет корреляцию 99 % с методом денситометрии. Важно отметить, что изменение ИМТ не всегда может свидетельствовать о наличии или отсутствии ожирения [31].

Башун Н. З. выявила взаимосвязь физической работоспособности (функциональных особенностей) с показателями компонентного (структурные особенности организма) состава тела человека. Она доказательно сформулировала суждение о том, что оценка состава тела должна проводиться не по антропометрическим индексам, а на основе аппаратных методов, использующих биофизические свойства различных тканей организма. Важной перспективой дальнейшего развития метода является его повсеместное внедрение в профилактическую медицину для решения вопросов сохранения и укрепления здоровья населения [32].

Анисимова А. В. с соавторами проанализировали репрезентативность данных биоимпедансного обследования в центрах здоровья на примере популяции детей и подростков города Москвы. Они обнаружили, что данные о распределении значений ИМТ в группах отличались незначительно, что позволило сделать вывод о репрезентативности школьной выборки обследованных в центрах здоровья по методике биоимпедансометрии как соответствующей характеристикам основной популяции московских школьников в отношении избыточности/недостаточности массы тела. Более выраженные различия, как межгрупповые, так и внутригрупповые, наблюдались для показателей развития тощей и жировой массы, что свидетельствует о значимости последних при оценке физического развития и статуса питания. Полученные результаты подтверждают информативность методики биоимпедансометрии и целесообразность использования референсных данных центров здоровья в качестве основы межгрупповых сравнений при осуществлении популяционного скрининга и мониторинга здоровья детей и подростков [33].

Гаврюшин М. Ю. и его коллеги отметили возможность использования БИА для оценки эффективности оздоровления детей в летних лагерях. Их исследование показало, что проведение антропометрии вместе с биоимпедансометрией помогает оценить адекватность питания детей в персонализированном подходе, а также исследовать уровень их двигательной активности [24].

Wiech P. и его коллеги провели оценку состава тела и пищевого статуса госпитализированных детей и подростков с воспалительными заболеваниями кишечника в возрасте от 4 до 18 лет. Они считают, что ФУ является высоко презентативным биоимпедансным параметром и его следует использовать в качестве информативного маркера недостаточности питания. Pileggi V. N. также подтвердил, что ФУ является чувствительным индикатором для выявления риска отклонений пищевого статуса у детей. Результаты других исследований также подтверждают полезность БИА для оценки состояния больных хроническими воспалительными заболеваниями кишечника [34].

Черных А. М. и его соавторы провели сравнительную оценку показателей ФР детей в возрасте от 7 до 18 лет, проживающих в городе Курске, за периоды 2000–2001 гг. и 2019–2020 гг. В ходе исследования был проведен мониторинг ФР школьников города Курска в динамике двадцати лет наблюдения, который выявил достоверное увеличение показателей длины и массы тела во всех возрастно-половых группах школьников. На фоне положительных медико-социальных изменений в городе Курске были зафиксированы проявления процесса акселерации, которые носили гармоничный характер и сопровождались увеличением показателей мышечной силы [23].

Исследования, посвященные особенностям ФР детей и подростков в зависимости от условий проживания (городская среда или сельская местность, степень выраженности антропогенных факторов и т.д.), представляют особый интерес, поскольку эти данные могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий, направленных на оздоровление детского контингента конкретной территории. Работы, посвященные оценке состояния здоровья детей, проживающих в сельской местности, отмечают большую распространенность хронических заболеваний у сельских младших школьников по сравнению с городскими, особенно нарушений со стороны нервной системы и психической сферы. Установлено, что у сельских детей чаще встречаются невротические реакции, неврозы и задержка психического развития. Также выявлена полиорганность поражений, высокий уровень патологии органов пищеварения и лор-органов, психических расстройств и вегетативных дисфункций. Однако изучение современных тенденций морфофункционального развития сельских школьников выявило недостаток информации, отражающей полноту спектра показателей ФР, которое является одним из главных маркеров здоровья [10].

Латышевская Н. И. и Рудыкина В. Н. провели комплексную оценку физического развития школьников начальных классов (7–10 лет), проживающих в сельской местности. Исследование не выявило достоверных различий отдельных морфофункциональных признаков между школьниками младших классов городских и сельских школ. Однако были обнаружены достоверные различия по показателям «Дефицит массы тела» и «Избыток массы тела» между учащимися сельских школ различного вида (общеобразовательная школа и малокомплектная школа). Этот факт подчеркивает необходимость проведения широких исследований факторов, формирующих эти показатели, в первую очередь, факторов образа жизни ребенка [35].

Бацевич В. А. и его коллеги провели исследование по оценке показателей состава тела, относящихся к одному адаптивному типу городских и сельских школьников Республики Тыва на фоне «трансформации» традиционного образа жизни. Они проанализировали тотальные размеры и показатели состава тела, оцененные методом биоимпедансометрии, в детских группах школьного возраста в 2018–2019 годах. Физические характеристики школьников свидетельствуют об относительно небольшом разрыве социально-экономических условий в регионах с разной степенью урбанизации. Отличия сглаживаются за счет постепенного ухода от традиционного образа жизни (скотоводство), более выраженного у коренных народов Сибири. Промежуточные итоги антропозкологических исследований, проведенных в Республике Тыва, показали значительные дезадаптивные изменения среди местного коренного населения, как сельского, так и формирующегося городского [36].

Исследования, проведенные в Республике Марий Эл, показали, что распространенность состояния гиподинамии среди детей и подростков в сельских районах выше, чем среди городского населения республики. На основе данных этого исследования были созданы центильные таблицы антропометрических, импедансных параметров и параметров состава тела для отечественной популяции по состоянию на 2011–2012 годы [9].

Штина И. Е. и его соавторы представили результаты биоимпедансного исследования учащихся средней общеобразовательной школы разных возрастных групп. Компонентный состав тела учащихся первого класса характеризовался снижением доли жировой массы у каждого пятого и увеличением – у каждого четвертого ученика, снижением содержания общей воды. У учащихся основной школы были выявлены наиболее неблагоприятные показатели состава тела: у 40 % зарегистрированы признаки гиподинамии (снижение значений ФУ) и избытка доли жировой массы. БИА учащихся старших классов характеризовался наибольшей частотой регистрации избытка доли жировой массы (45,0 %) и недостаточностью скелетно-мышечной массы (12,5 %). Отклонения показателей состава тела

от возрастных трендов могут служить критериями отнесения детей и подростков к группам риска здоровью для разработки коллективных программ профилактики и реабилитации [37].

**Заключение.** Таким образом, биоимпедансометрия позволяет получить объективные научные данные для биомедицинской антропологии, так как является весьма информативным и одним из популярных методов оценки компонентного состава тела человека, что предполагает ее широкое использование. В совокупности с фундаментальными антропометрическими, морфологическими, функциональными и биохимическими методиками исследования биоимпедансометрия предоставляет большие возможности для оценки показателей физического развития и состояния здоровья человек.

#### Литература:

- [1]. Башун Н.З., Карбаускиене В., Чекель А.В. Биоимпедансный анализ как метод оценка структурных и функциональных особенностей состава тела человека // *Ceteris Paribus*. 2015. № 4. С. 7–10.
- [2]. Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И. Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы) // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина*. 2017. № 12 (4). С. 365–384.
- [3]. Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю. Физическое развитие детей: методические аспекты // М. 2020. С. 178.
- [4]. Колосов Н.И., Лопарёва М.А., Денисов Е.Н. и др. Биоимпедансный анализ физического развития учеников 9 класса // *Молодой ученый*. 2018. № 15 (201). С. 154–157.
- [5]. Моисеева А.Б., Верещагиной Т.Г. и др. Оценка физического развития детей и подростков // *Учебно-методическое пособие. РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России*. 2023. С. 100.
- [6]. Щепалов В.А., Гурьянов М.С., Крохин Д.А., Дорошенко А.А. Результаты анализа антропометрических показателей с помощью биоимпедансного обследования студентов медицинского вуза на начальном этапе обучения // *Вопросы педагогики*. 2020. № 11 (2). С. 391–394.
- [7]. Нагибович О.А., Смирнова Г.А., Андриянов А.И. и др. Возможности биоимпедансного анализа в диагностике ожирения // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2018. № 20 (2). С. 182–186.
- [8]. Anders A., Kristian H., Rune H. et al. Validity and Reliability of Bioelectrical Impedance Analysis and Skinfold Thickness in Predicting Body Fat in Military Personnel. 2014. № 179. P. 208–217.
- [9]. Чепель Т.В., Ладная А.А. Биоимпедансометрия: достижения и клинические возможности (обзор литературы) // *Дальневосточный медицинский журнал*. 2020. № 2. С. 87–96.
- [10]. Николаев Д.В., Щелькалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека // М., 2016. С 152.
- [11]. Тарусов Б.Н. О диэлектрической константе мышцы. Доклады АН СССР. 1934. №3(5). С. 353–356.
- [12]. Thomasset M.A. Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine // *Significance of curves obtained. Lyon Medical*. 1962. № 94 P. 107–118.
- [13]. 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.
- [14]. Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Hall C.B., Siders W.A. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *Journal of Applied Physiology*. 1986. № 60(4). P. 1327–1332.
- [15]. Kushner R.F. Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications. *Journal of the American College of Nutrition*. 1992. № 11(2). P. 199–209.
- [16]. Дранкина О.М., Максимова О.А., Шептулина А.Ф., Джюева О.Н. Биоимпедансный анализ состава тела: что важно знать терапевту? // *Профилактическая медицина*. 2022. Т. 25. № 10. С. 91–96.
- [17]. Cole T.J., Green P.J. Smoothing reference centile curves: the LMS method and penalized likelihood // *Stat. Med*. 1992. V.11. N 10. P. 1305–1319.
- [18]. Kyle U.G., Earthman C.P., Pichard C., CossBu J.A. Body composition during growth in children: Limitations and perspectives of bioelectrical impedance analysis // *European Journal of Clinical Nutrition*. 2015. № 69 (12). P. 1298–1305.
- [19]. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. С. 392.
- [20]. Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А. и др. Биоимпедансное исследование состава тела населения России // М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. С. 493.
- [21]. Абдуллаев А.Н., Ганбарова Х.А., Зайкова И.О., Ануфриева Е.В. Роль биоимпедансометрии в оценке нутритивного статуса школьников // *Актуальные вопросы современной медицинской*

- науки и здравоохранения: Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов, IV Форума медицинских и фармацевтических вузов России «За качественное образование», посвященные 100-летию со дня рождения ректора Свердловского государственного медицинского института, проф. Василия Николаевича Климова, Екатеринбург, 10–12 апреля 2019 г. Том 2. – Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации. 2019. Т. 2. С. 410–414.
- [22]. Павлова З.Ш., Пьяных О.П., Голодников И.И. Биоимпедансный анализ: клинические примеры и интерпретация изменений состава тела человека при воздействии различных факторов // Эндокринология: новости, мнения, обучение. 2020. № 9 (4). С. 74–81.
- [23]. Черных А.М., Кремлева А.С., Белова А.И. Мониторинг физического развития школьников города Курска в динамике двадцати лет наблюдения // Российский вестник гигиены. 2021. № 1. С. 42–46.
- [24]. Гаврюшин М.Ю. Совершенствование методов гигиенической оценки физического развития детей и подростков // Аспирантские чтения - 2015: Материалы научно-практической конференции с международным участием "Молодые учёные XXI века - от идеи к практике", посвященной 85-летию Клиник СамГМУ, Самара, 12 октября 2015 года. – Самара: Аэропринт, 2015. С. 133–134.
- [25]. Миклашевская Н.Н., Соловьева В.С., Година Е.З. Ростовые процессы у детей и подростков // М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 184.
- [26]. Година Е.З., Гундэгмаа Л., Пермякова Е.Ю. Сравнительный анализ тотальных размеров тела и функциональных характеристик сельских и городских детей и подростков Монголии // Вестник МГУ. Сер. 23, Антропология. 2019. № 1. С. 35–49.
- [27]. Гириш Я.В., Герасимчик О.А. Роль и место биоимпедансного анализа в оценке состава тела детей и подростков с различной массой тела // Бюллетень сибирской медицины. – 2018. № 2 (17). С. 121–132.
- [28]. Дружинина Н.А., Насибуллина Л.М., Мерзлякова Д.Р. и др. Особенности нутритивного статуса детей с рецидивирующей респираторной патологией // Медицинский совет. 2019. № 11. С. 188–194.
- [29]. Bosy-Westphal A., Danielzik S., Dorhofer R.-P. et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index // J. Parenteral Enteral Nutr. 2006. Vol. 30. P. 309–316.
- [30]. Бобринская И.Г., Билалова Э.Ф., Мороз В.В. и др. Неинвазивный метод оценки отёка головного мозга у больных с черепно-мозговой травмой // Общая реаниматология. 2007. № 5 (6). С. 24–28.
- [31]. Анищенко А.П., Архангельская А.Н., Стулина Д.Д. и др. Сопоставимость антропометрических измерений и результатов биоимпедансного анализа // Инновационные технологии в спорте и физическом воспитании: Материалы V межрегиональной научно-практической конференции с международным участием, Москва, 18–19 апреля 2016 г. – Москва: ООО «Центр социального прогнозирования и маркетинга». 2016. С. 37–41.
- [32]. Баиун Н.З., Жарнов А.М., Чекель А.В. Особенности изменений параметров компонентного состава тела представителей подросткового и юношеского возрастных периодов, выявленные методом биоимпедансного анализа // Физико-химическая биология как основа современной медицины: тезисы докладов участников Республиканской конференции с международным участием, посвященной 110-летию со дня рождения В. А. Бандарина, Минск, 24 мая 2019 г. Белорусский государственный медицинский университет. 2019. С. 40–41.
- [33]. Анисимова А.В., Руднев С.Г., Година Е.З. и др. Состав тела московских детей и подростков: оценка репрезентативности данных биоимпедансного обследования в центрах здоровья // Лечение и профилактика. 2014. № 1 (9). С. 24–29.
- [34]. Wiech P., et al. Bioelectrical impedance phase angle as an indicator of malnutrition in hospitalized children with diagnosed inflammatory bowel diseases – a case control study // Nutrients. 2018. Vol. 10, № 4. P. 499.
- [35]. Латышевская Н.И., Рудыкина В.Н. Особенности физического развития младших школьников, проживающих в сельской местности // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2017. № 2 (62). С. 71–73.
- [36]. Бацевич В.А., Пермякова Е.Ю., Машина Д.А. и др. Сравнение городской и сельской групп детей школьного возраста республики Тыва по данным биоимпедансного анализа в условиях "трансформации" традиционного образа жизни // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2020. № 4 (51). С. 148–160.

- [37]. Штина И.Е., Валина С.Л., Устинова О.Ю., Маклакова О.А. Возрастные особенности компонентного состава тела у школьников // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2019. № 4. С. 496–500.

L. A. BELAYA, V. A. MELNIK, S. N. MELNIK, A. A. KOZLOVSKY

**ANALYTICAL REVIEW OF THE USE OF BIOIMPEDANCE ANALYSIS TO ASSESS THE INDICATORS OF PHYSICAL DEVELOPMENT AND HUMAN HEALTH**

*Educational Establishment “Gomel State Medical University”, Gomel, Republic of Belarus*

**Summary**

The article is an analytical review of the literature based on the results of modern research that uses bioimpedance measurement in practice. The analysis of domestic and foreign sources shows the expediency and wide possibilities of studying the electrical resistance of biological tissues and media in various fields of medicine. Most of the works are devoted to the applied value of the method for characterizing nutritional status as an indicator of a comprehensive assessment of physical development and human health, early diagnosis of pathology of organs and systems, a reliable criterion for the effectiveness of therapy and prognosis of the disease. The review presents work characterizing bioimpedance measurement as a promising method of preventive diagnosis, which has such advantages as non-invasiveness and painlessness of the procedure, portability, the possibility of safe repetition of the study in dynamics, especially relevant in pediatric practice. The authors propose to include this method in the standards of population survey in order to assess the state and monitor health [1, 2].

*Keywords:* bioimpedance analysis, physical development, anthropometric measurements, body component composition.