



## **БИОИМПЕДАНСНЫЙ АНАЛИЗ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

**Зыбалова Т.С.,**

**кандидат медицинских наук доцент**

### **Резюме**

В настоящем обзоре приведено описание возможностей, недостатков, сравнительной характеристики методов диагностики в оценке компонентного состава тела с позиции верификации и динамического наблюдения. На основе измеренных значений электрического сопротивления (импеданса) тела и антропометрических данных, биоимпедансный анализ позволяет оценить состояние белкового, жирового и водного обменов, интенсивность метаболических процессов организма. Получаемая в результате исследования информация востребована как на этапах терапии и реабилитации пациентов, так и при определении резервов здоровья и рисков развития заболеваний у практически здоровых людей. Наиболее полно преимущества метода биоимпедансной оценки раскрываются в медицинских специализациях, связанных с воздействием на организм факторов питания и движения, с нарушениями гидратации организма, катаболическими и дегенеративными процессами.

**Ключевые слова:** биоимпедансный анализ, жировая масса, активная клеточная масса, мышечная масса, саркопения, кахексия

### **Введение**

Метод биоимпедансного анализа (БИА), основанный на измерении электрической проводимости различных тканей человека, применяется специалистами уже более 50 лет в различных сферах деятельности – науке, медицине, спорте, образовании [1].

Объективными показателями здоровья населения, отражающими уровень физической активности и сбалансированность питания, являются физическое развитие и трофологический статус – интегральная характеристика белково-энергетического, водно-электролитного и витаминного гомеостаза. Для оценки рисков нарушений статуса, заболеваемости и смертности в клинических исследованиях наряду с антропометрическими методами применяются методы оценки состава тела [2]. Являясь одним из аспектов морфологической конституции, компонентный состав тела отражает состояние обменных процессов в организме и может служить своеобразным предиктором развития различных патологических состояний. Применение методов оценки состава тела в клинической практике направлено на раннюю диагностику и своевременную коррекцию неблагоприятных изменений состава тела: избыточное накопление жировой ткани особенно, висцеральной, потеря мышечной массы, негативные изменения водного баланса, снижение плотности костной ткани.

### **Антропометрические показатели**

Антропометрические измерения являются простым и доступным методом, позволяющим оценить не только массу тела, но и его белково-энергетический статус. При определении состава тела на основе антропометрических методов используют общие размеры (масса, длина и площадь поверхности тела), обхватные размеры частей тела и сегментов конечностей, а также кожно-жировых складок на определенных участках тела. Основным интересом для характеристики состава тела представляют те индексы, в построении которых участвует признак массы тела (МТ), то есть индексы массы тела. В настоящее время наибольшее распространение получил индекс Кетле (Кетле-Гульда-Каупа), называемый просто индексом массы тела (ИМТ). Величина ИМТ может свидетельствовать о хронической энергетической недостаточности, избыточной МТ или ожирении, но имеет существенные недостатки, так как у пациентов с одинаковыми величинами ИМТ может существенно отличаться компонентный состав тела. Следствием низкой диагностической чувствительности ИМТ является наличие в популяции лиц со скрытым ожирением, или ожирением нормального веса, при котором ИМТ находится в пределах нормальных значений, а количество жировой массы существенно выше нормы. Как и «обычное» ожирение, скрытое ожирение ассоциировано с высоким риском развития метаболического синдрома, сердечно-сосудистых и других заболеваний [3]. Иногда встречается и другая ситуация – «ложное ожирение», когда значение ИМТ превышает референтные значения, но за счет сильно развитой мускулатуры пациента. При анализе гендерных различий обнаруживается, что если у женщин величина ИМТ с достаточно высокой достоверностью свидетельствует о степени развития жировой массы (ЖМ), то у мужчин по ИМТ достаточно сложно определить, за счет какого компонента состава тела определяется дефицит или избыток массы тела [4]. Таким образом, простое соотношение индивидуальных массоростовых характеристик и расчетных антропометрических индексов в ряде случаев оказываются малоинформативными, а наиболее полные сведения о

физическом развитии человека дает фракционирование МТ на основные тканевые компоненты. Главными недостатками антропометрических методов являются невозможность оценить количество тощей массы и дифференцировать подкожную и висцеральную жировую ткань.

### **Методы определения состава тела**

Эталонными методами определения состава тела являются компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), производящие объемную реконструкцию тела человека с возможностью изучения пространственной структурой тканей и органов [5]. Метод КТ основан на использовании рентгеновских лучей, ориентированных в одной плоскости и преобразованных в веерный пучок, пропускаемый через различные участки тела. Анализ морфологии тканей на изображениях, полученных при КТ-исследованиях, основан на ослаблении рентгеновского излучения при прохождении через тело пациента, выраженного в единицах рентгеновской плотности. Рентгеновская плотность костной ткани значительно превышает плотность остальных тканей организма, что позволяет использовать метод КТ в целях диагностики остеопороза. Метод КТ дает возможность отдельного мониторинга массы скелетных мышц, внутренних органов, а также количества подкожного и внутреннего жира. В откалиброванной КТ-системе чистая вода имеет значение плотности, равной нулю. За исключением воздуха в легких, пазухах носа и желудочно-кишечном тракте, жировая ткань является единственной структурой, которая представлена рядом отрицательных значений плотности, тогда как остальные ткани и органы имеют положительные значения [6]. Кроме количественной оценки мышечной ткани, КТ-диагностика дает представление о качественных возрастных изменениях мышц с позиции вклада мышечной атрофии и жировой инфильтрации мышечных волокон в феномен саркопении и синдрома старческой астении.

При МРТ используется магнитное поле, которое не имеет известного побочного действия, связанного с воздействием радиации. Одним из самых больших преимуществ МРТ является способность изменять контрастность изображения (небольшие изменения радиоволн и магнитных полей могут полностью изменить контрастность изображения). Разные установки контрастности позволяют выделить различные типы тканей. Метод МРТ в определении висцерального ожирения, саркопении показывает результаты, сходные с КТ, при этом не подвергая пациента ионизирующему излучению. Высокая чувствительность к изменению парамагнитных характеристик исследуемого субстрата позволяет использовать МРТ для выявления отека мышц или фасций, жировой инфильтрации, фиброза и атрофии мышечной ткани [7]. Использование МРТ ограничено для пациентов с металлическими и электромагнитными имплантатами, кардиомониторами и электрокардиостимуляторами. Недостатком МРТ в сравнении с КТ является длительность исследования. В связи с высокой стоимостью исследований методы КТ и МРТ для оценки состава тела в клинической практике используются редко.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорциометрия (dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) – наиболее распространенный рентгенологи-

ческий метод изучения состава тела. Как и при остеопорозе, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) с использованием дополнительного модуля «Сканирование всего тела» является общепризнанным основным методом количественного определения мышечной и жировой масс [8]. Данный метод позволяет не только достоверно определить количество жировой ткани, но и оценить характер ее распределения (висцеро-абдоминальный или глютеофemorальный), локализацию и количество (абсолютные и относительные величины) жировой ткани в отдельных частях тела. Диагностической погрешностью использования ДРА в определении саркопении является невозможность разделения подкожной и висцеральной жировой ткани, а также то, что в состав безжировой ткани входят и паренхиматозные органы. Безжировая масса конечностей наиболее точно совпадает с их мышечной массой. Поэтому в клинических исследованиях по саркопении не только учитывают общий показатель безжировой массы, но и выделяют сумму показателей безжиренной массы верхних и нижних конечностей – аппендикулярную массу скелетной мускулатуры, показатель которой высоко коррелирует с данными как КТ, так и МРТ скелетных мышц [9]. Основным ограничением ДРА является невыполнимость качественной оценки скелетных мышц из-за невозможности количественного определения жирового компонента межмышечной жировой ткани внутри и вокруг мышечных волокон [10]. Поскольку жировая инфильтрация мышц может влиять на показатели их плотности, а также снижать мышечную функцию и подвижность, это обстоятельство, в сравнении с КТ и МРТ, существенно снижает диагностическую ценность ДРА в диагностике синдрома саркопении [6]. Необходимо отметить, несмотря на существенные достоинства метода – оперативность, возможность одновременной оценки нескольких компонент состава тела, высокую информативность, достоверность результатов, короткую продолжительность обследования пациента (2-5 минут), – воздействие рентгеновского излучения существенно лимитирует кратность использования метода у одного и того же пациента и не позволяет проводить динамические наблюдения чаще 1 раза в год.

#### **Биоимпедансный метод**

Альтернативной методикой двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии является биоимпедансный анализ (БИА) – простой в использовании, недорогой и воспроизводимый метод оценки компонентного состава тела [5]. Определенные БИА показатели тощей и жировой масс высоко коррелируют с ДРА [11].

Биоимпедансный метод – это аппаратный метод измерения электрической проводимости биологических тканей, дающий возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических параметров организма. Существует несколько видов приборов для измерения биоимпеданса, но принцип действия для всех одинаков, в основном внешне схож на снятие ЭКГ. Продолжительность обследования в зависимости от методики и время, необходимое для получения результатов, составляют 5-10 минут.

С помощью биоимпедансного анализатора измеряют активное и реактивное сопротивление (биоимпеданс) тела человека и/или его сегментов на различных частотах и получают расчетные значения параметров состава тела и скорости метаболических процессов в совокупности с индивидуально рассчитанными интервалами нормальных значений каждого параметра. Удельное сопротивление биологических тканей для заданной частоты тока может претерпевать изменения под влиянием ряда физиологических и патофизиологических факторов. Данный метод основывается на различиях электропроводности биологических тканей ввиду различного содержания в них жидкости и электролитов, что позволяет по измеренному импедансу оценить количественно различные компоненты состава тела. Формулы разработаны для различных этнических групп, установлены референтные данные для мужчин и женщин различного возраста европеоидной расы.

Немаловажным является безопасность, доказанная многолетним применением метода, без нежелательных последствий для организма согласно принятому в большинстве стран стандарту электробезопасности, использующему зондирующий ток не выше 2 мА. 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. Другой переменной, которая важна при стандартизации, является менструальный цикл, поэтому изменчивость измерений биоимпеданса выше у женщин [12]. Недостатком метода является то, что при выраженном истощении или значительном ожирении он может представлять неточные результаты, это же относится и к существенным изменениям водного баланса организма.

При проведении биоимпедансометрии проводится расчет и анализ целого ряда показателей:

— жировая масса (ЖМ) – выявление избытка или недостатка абсолютного количества жировой ткани в теле;

— доля жировой массы (%ЖМ), индекс жировой массы (иЖМ) – классификация избыточного содержания жировой массы, ожирения, оценка риска метаболического синдрома, характеристика достаточности питания;

— безжировая (тощая) масса (ТМ), индекс тощей массы (иТМ) – характеристика развития безжировой массы, выявление катаболических сдвигов;

— активная клеточная масса (АКМ) – мышцы, паренхиматозные органы, мозг и нервные клетки – классификация достаточности белковой компоненты питания;

— доля активной клеточной массы (%АКМ) – классификация уровня двигательной активности, выявление гиподинамии;

— общая жидкость (ОЖ), внеклеточная жидкость (ВКЖ) – характеристика состояния гидратации тела, выявление избытка и дефицита жидкости в организме;

— скелетно-мышечная масса (СММ) – характеристика развития скелетно-мышечной ткани;

— доля скелетно-мышечной массы (%СММ), индекс скелетно-мышечной массы (иСММ) – характеристика физической работоспособности, выявление риска инвалидности у пожилых людей;

— основной обмен (ОО, ккал) – обмен веществ за 24 часа в состоянии покоя.

Нормальным содержанием жира в организме для мужчин считается 15-25%, для женщин – 18-30% от общей массы тела. Скелетная мускулатура составляет 30% от тощей массы тела, масса висцеральных органов – 20%, костная ткань – 7%.

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 (ФУ)**, 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 фазового угла [4]. Фазовый угол считается показателем тренированности и выносливости организма, по его величине в спорте высших достижений оценивается предстартовая готовность спортсмена. Высокие значения фазового угла 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 [1].

**Общая жидкость организма** коррелирует с безжировой массой тела и составляет в среднем около 60% веса тела. Определяется общий объем, а также содержание внутриклеточной и внеклеточной жидкостей, равным 2/3 и 1/3 от общей воды соответственно. Внеклеточная жидкость состоит из интерстициальной жидкости, плазмы крови и лимфы. В норме ее объем является константой, обеспечиваемой гидромеханическими и осмотическими компенсаторными механизмами. Однородный молекулярный состав воды и ее уникальные физико-химические и биологические свойства дают возможность определить содержание воды в организме на основе метода изотопного разведения, рассматриваемого в качестве золотого стандарта гидрометрии [13].

К недостаткам метода разведения относят большую продолжительность обследования (от нескольких часов до нескольких суток), необходимость внутривенного введения метки с последующим взятием крови на анализ, дозу облучения при использовании радиоактивных изотопов. Использование радиоактивных изотопов ограничивает применение метода у детей и беременных женщин и не позволяет проводить многократные динамические обследования пациентов.

Для оценки возможности использования в клинической практике БИА с целью контроля водного баланса, регрессионные зависимости, полученные в биоимпедансных исследованиях, и другие результаты сопоставлялись с данными, которые составлены на основании большого числа наблюдений с использованием индикаторных методов. Например, в группе пациентов с выраженными нарушениями водно-электролитного баланса в послеоперационном периоде результаты БИА сопоставлялись с данными тиосульфатного метода [14]. Диапазон значений «тиосульфатного пространства» внеклеточной жидкости составил 9,8-18,5 литров, а «электрического пространства» – 9,6-16,5 литров с максимальным расхождением не более 15%. Значительный интерес представляют исследования по влиянию химического состава плазмы крови на величину ее электрического импеданса. Показано, что ряд синдромов, например, уремия, гипергликемия, ацидемия существенно изменяют импеданс плазмы [15]. Есть данные об измерении содержания воды в отдельных участках тела, например, в грудной клетке и брюшной полости [16].

**Жировая ткань** является важным компонентом состава тела человека. Количество висцеральной жировой ткани определено генетически, а количество подкожных адипоцитов больше зависит от воздействия вторичных факторов. Вследствие существенной разницы в массе тела разных возрастных групп, анализ количества жировой ткани представляется более целесообразным по процентному содержанию в организме, а не по абсолютным числам. При рождении доля жировой массы в организме составляет 10-15% массы тела вне зависимости от пола. К 6 месяцам жизни доля ЖМ увеличивается до 30% с последующим постепенным снижением. С 5-6 лет происходит рост абсолютной ЖМ. Масса жировой ткани увеличивается с возрастом и достигает пика в 60-75 лет, при этом происходит увеличение объема висцерального жира и снижение подкожно-жирового слоя [10]. Доказано, что масса висцеральной жировой ткани является более точным фактором риска развития заболеваний, чем масса подкожного жира [17].

Нормы содержания жировой массы в организме различны у мужчин и женщин и определяются в зависимости от роста и возраста [18]. Например, считают оптимальным уровень жирового компонента в процентах до 30 лет – 20-28% для женщин и 18-24% для мужчин, после 60 лет – 24-32% для женщин и 22-31% для мужчин [1]. Жировая масса является наиболее вариabельным компонентом организма и может сильно изменяться за относительно короткий период времени, в то время как тощая масса является значительно более статичным компонентом. Снижение жировых запасов является признаком значительного дефицита энергетического компонента питания, в то время как низкие значения тощей массы тела свидетельствуют о снижении запасов белка в организме.

Проводить точную оценку количества жировой ткани, ее распределение с оценкой количества подкожного и висцерального жира, как отмечалось выше, позволяют КТ и МРТ. Метод ДРА с программой «Сканирование всего тела», представленный в современных рентгеновских денситометрах, позволяет оценивать не только минеральную плотность скелета, но и количество

жировой и мышечной ткани, а также их регионарное распределение. Точность оценки количества жировой ткани сопоставима с таковой КТ и МРТ [19]. По возможностям оценки общего содержания жировой массы в организме БИА значительно превосходит антропометрические методы, но существенно уступает эталонным высокоразрешающим методам. БИА несколько переоценивает количество жировой ткани в организме, в сравнении с ДРА [20]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) позволяет непосредственно визуализировать висцеральную ткань, однако нет убедительных данных о сопоставимости результатов УЗИ с данными эталонных методов. Более того, УЗИ не позволяет оценить общее количество жировой и тощей массы в организме.

Кроме определения общего количества ЖМ, рассчитывают **индекс массы жировой ткани**, который более точно отражает степень избытка жировой ткани, чем абсолютное количество ЖМ. Формула расчета иЖМ аналогична расчету 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 (ХНИЗ). Внедрение биоимпедансной диагностики в широкую клиническую практику будет способствовать ранней диагностике висцерального ожирения, что позволит на более раннем этапе проводить профилактические мероприятия, направленные на предотвращение метаболических осложнений, а также проводить динамический контроль в процессе лечения. Биоимпедансный анализ с динамической оценкой количества жировой массы организма на фоне программ по снижению веса позволяет отслеживать уменьшение именно жировой, а не мышечной ткани.

**Безжировая масса тела** – часть массы тела, включающая в себя все, что не является жировой тканью: мышцы, все органы, мозг, нервы, кости и все жидкости, находящиеся в организме. Безжировая масса характеризуется высоким уровнем удельной метаболической активности и является главной детерминантой основного обмена. 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. АКМ объединяет компоненты состава тела, подверженные наибольшему изменению под действием питания, физических нагрузок, заболеваний. Процентная доля АКМ представляет совокупную оценку относительного уровня метаболической активности тощей массы и является коррелятом двигательной активности. Одно из применений величины %АКМ состоит в выявлении гиподинамии. Эталонным методом оценки АКМ является определение естественной радиоактивности всего тела [13].

Одной из составляющих безжировой массы является **скелетно-мышечная масса** (СММ). Отношение СММ к массе тела у взрослых людей составляет в норме 40-45% у мужчин и 30-35% у женщин, и с возрастом снижается. Около 40% массы тела человека составляют скелетные мышцы,



около 10 % приходится на долю гладких мышц и миокарда. Пик мышечной массы (ММ) гендерно одинаково приходится на 25 лет, к 50 годам наблюдается потеря 10% мышечной массы, к 80 годам уменьшение ММ достигает 30%. Средняя потеря ММ у человека составляет 1% в год после 35-40 лет [21]. Гиподинамия, гормональные изменения, провоспалительное состояние, плохое питание ускоряют потерю массы и силы мышц. Уменьшение силы мышц обычно опережает снижение их объема. С учетом уменьшения мышечной массы с возрастом, для оценки риска инвалидности у людей старше 60 лет были разработаны критерии по величине индекса скелетно-мышечной массы, равного отношению СММ к квадрату длины тела [22] и по величине индекса тощей массы, при расчете которого учитывается тощая масса верхних и нижних конечностей [21].

**Диагноз саркопении** – прогрессирующей потери мышечной массы, мышечной силы и выносливости – устанавливаются при снижении ИТМ на два стандартных отклонения (SD) по сравнению с практически здоровыми молодыми людьми соответственно полу. К группе риска развития саркопении относят всех лиц старшей возрастной группы, у которых наблюдается снижение физической функции (способности выполнять физическую работу), силы или отмечается общее ухудшение состояния здоровья, а также при наличии в анамнезе рецидивирующих падений, длительной иммобилизации, хронических состояний, ассоциированных с потерей мышечной массы (сахарный диабет 2-го типа, хроническая сердечная недостаточность, хроническая обструктивная болезнь легких, хронические заболевания почек, ревматоидный артрит, злокачественные опухоли), а также документально подтвержденной недавней потери веса [10].

Отсутствие единого стандарта инструментальной диагностики данного синдрома и настороженности специалистов в отношении саркопении при стандартном обследовании является одной из основных причин недостаточного выявления утраты мышечной массы в группе пожилых пациентов. Выявление саркопении у пациентов на стадии, когда имеет место лишь начальное уменьшение мышечной массы без снижения мышечной силы, имеет большое значение для определения причины заболевания и своевременного начала лечения.

С позиции объективности и визуализации для стратификации саркопении наиболее широкое применение получили ДРА, КТ, МРТ, однако особенности использования, ограничения методик не позволяют выделить определенный золотой стандарт. Несмотря на то что УЗИ позволяет оценить мышечную массу, а также изменения ее качественных характеристик, связанных с увеличением внутримышечной фиброзной и жировой ткани, отсутствие достоверной воспроизводимости количественной оценки мышечной массы и высокая операторозависимость ограничивают ультразвуковую диагностику саркопении [6]. БИА в сравнении с ДРА достаточно точно отражает содержание тощей массы, особенно в отсутствие ожирения [20].

Наличие висцерального ожирения на фоне потери ММ с изменением структуры мышечной ткани рассматривается как саркопеническое ожирение.

Считают, что саркопеническое ожирение потенциально может более значительно увеличивать риск смерти по сравнению с саркопенией и ожирением в отдельности [23].

Саркопения относится к клинически значимым осложнениям длительной терапии хроническим гемодиализом и выступает независимым прогностическим фактором заболеваемости и смертности у гемодиализных пациентов [24]. Сравнительный анализ эффективности методов оценки мышечной массы тела у гемодиализных пациентов, получающих лечение гемодиализом, не выявил значимых преимуществ двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии по сравнению с тетраполярной мультисекторной биоимпедансометрией [25]. В исследовании ДРА и БИА при определении общей мышечной массы тела и сегментарной мышечной массы тела (мышечная масса правой и левой руки, правой и левой ноги, туловища) показали высокую сопоставимость, а так как ДРА считается золотым стандартом определения мышечной массы тела, то можно говорить практически об идентичной диагностической значимости БИА как метода оценки мышечной массы тела у гемодиализных пациентов.

Непреднамеренное снижение массы тела, определяемое как **синдром кахексии**, часто встречается в клинической практике, сопровождая течение многих хронических неинфекционных болезней. Даже незначительное снижение веса у пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) определяет неблагоприятный прогноз основного заболевания, снижает эффективность проводимой терапии и является мощным предиктором высокой смертности. Важным в понимании кахексии является не просто снижение массы тела, а изменение его компонент, прежде всего потери мышечной ткани. Например, снижение мышечной массы в той или иной степени свойственно примерно 90% пациентам с признаками ХСН и может иметь место при нормальном или даже повышенном ИМТ [26]. Вот почему выявление кахексии на ранних стадиях заболевания в повседневной клинической практике становится трудновыполнимым без использования дополнительных инструментальных методов определения компонентного состава тела. Особенно актуальным это становится у пациентов с ожирением или отеками.

В целом большинство лиц, страдающих кахексией, имеют также и саркопению, в то время как пациенты с саркопенией не обязательно кахектичны. Так, пациенты, страдающие ревматоидным артритом, наряду с остеопорозом и остеопенией имеют значимое снижение мышечной массы в виде саркопении и/или кахексии [27]. При РА эти два синдрома могут присутствовать одновременно, причем саркопения может быть фоном, на котором развивается кахексия при ревматоидном артрите (КРА), вызывая снижение устойчивости организма к катаболическим процессам. В свою очередь КРА усугубляет потерю мышечной массы, связанную с увеличением возраста. Учитывая прогрессирующий и необратимый характер синдрома кахексии, его поздняя диагностика резко ограничивает использование нутриционной поддержки и симптоматической медикаментозной терапии, которые позволяют частично воздействовать на отдельные проявления кахексии лишь на ранних стадиях [27].

## Заключение

Новые способы биоимпедансного анализа представлены биоэлектрической спектроскопией, сегментарным биоимпедансным анализом и биоэлектрическим импедансным векторным анализом.

Все вышеизложенное определяет перспективность использования биоимпедансного анализа в комплексной оценке компонентного состава тела. Знание теоретических основ биоимпедансометрии, четкое соблюдение методических указаний по выполнению исследования позволяют нивелировать погрешность измерений, повысить точность, достоверность результатов, диагностическую ценность БИА для оценки эффективности профилактических и лечебных мероприятий в различных областях клинической медицины.

## Литература

1. Гайворонский ИВ, Ничипорук ГИ, Гайворонский ИН, и др. Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы). Вестник СПбГУ. Медицина. 2017;12(4):365-384.
2. Böhm A, Heitmann BL. The use of bioelectrical impedance analysis for body composition in epidemiological studies. *Eur J Clin Nutr.* 2013;67(1):79-85.
3. Goodpaster ВН. Metabolic Flexibility in Health and Disease. *Cell. Metab.* 2017;25(5):1027-36.
4. Николаев Д.В., Щелыкалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека. М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ. 2016:152.
5. Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev.* 2000;80(2):649-80.
6. Масенко В.Л., Коков А.Н., Григорьева И.И., и др. Лучевые методы диагностики саркопении. Исследования и практика в медицине. 2019;6(4):127-37.
7. Dalakas MC. Inflammatory muscle diseases. *N Engl J Med.* 2015;373(4):393-4.
8. Messina C, Monaco CG, Ulivieri FM, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition in patients with secondary osteoporosis. *Eur J Radiol.* 2016;85(8):1493-8.
9. Freda P, Wei S, Reyes-Vidal C, et al. Skeletal muscle mass in acromegaly assessed by magnetic resonance imaging and dual-photon X-ray absorptiometry. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009; 94(8):2880-6.
10. Мисникова И.В., Ковалева Ю.А., Климина Н.А. Саркопеническое ожирение. *РМЖ.* 2017;1:24-9.
11. Jaffrin MY. Body composition determination by bioimpedance: an update. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2009;12:482-6.
12. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука. 2006:248.
13. Русакова Д.С., Щербакова М.Ю., Гаппарова К.М., и др. Современные методы оценки состава тела. Экспериментальная клиническая гастроэнтерология. 2012;8:71-81.
14. Gagnon RT, Gagner M, Duplessis S. Variations of body composition by bioelectric impedance after major surgery. *Ann Chir.* 1994;48:708-16.
15. Fuller HD. The electrical impedance of plasma: a laboratory simulation of the effect of changes in chemistry. *Ann Biomed Eng.* 1991;19:123-129.
16. Hannan WJ, Cowen SJ, Plester CE. et al. Comparison of bioimpedance spectroscopy and multi-frequency bioimpedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci.* 1995;89:1651-8.

## Внутренние болезни сегодня : сб. науч. тр., посвящ. 100-летию УО БГМУ

17. Osawa K, Miyoshi T, Koyama Y, et al. Differential association of visceral adipose tissue with coronary plaque characteristics in patients with and without diabetes mellitus. *Cardiovascular Diabetology*. 2014;13(1):61.

18. Bigornia SJ, LaValley MP, Benfi LL, et al. Relationships between direct and indirect measures of central and total adiposity in children: What are we measuring? *Obesity (Silver Spring)*. 2013;21(10):2055-62.

19. Micklesfield LK, Goedecke JH, Punyanitya M, et al. Dual-Energy X-Ray Performs as Well as Clinical Computed Tomography for the Measurement of Visceral Fat. *Obesity (Silver Spring)*. 2012;20(5):1109-14.

20. Огороков П.Л., Васюкова О.В., Воронцов А.В. Методы оценки количества и распределения жировой ткани в организме и их клиническое значение. *Проблемы эндокринологии*. 2014;60(3):53-8.

21. Поворознюк В.В., Дзерович Н.И. Саркопения и возраст: обзор литературы и результаты собственных исследований. *Боль, суставы, позвоночник*. 2012;3(7):7-13.

22. Anssen I, Baumgartner RN, Ross R, et al. Skeletal muscle cutpoints associated with elevated physical disability risk in older men and women. *Am J Epidemiol*. 2004;159(4):413-21.

23. Brown JC, Harhay MO, Harhay MN. Sarcopenia and mortality among a population-based sample of community-dwelling older adults. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2015;7:290-8.

24. Giglio J, Kamimura MA, Lamarca F, et al. Association of Sarcopenia with Nutritional Parameters, Quality of Life, Hospitalization, and Mortality Rates of Elderly Patients on Hemodialysis. *J Ren Nutr*. 2018;28(3):197-207.

25. Лаврищева Ю.В., Яковенко А.А. Пути оптимизации оценки мышечной массы тела у гемодиализных пациентов. *Урологические ведомости*. 2019;9(1):23-28.

26. Костюкевич О.И. Современные подходы к диагностике и лечению синдрома кахексии с позиции врача-терапевта. *РМЖ*. 2011;2(1):24-28.

27. Ключкова И.С., Астафьева Л.И., Кадашев Б.А., и др. Патогенетические аспекты синдрома кахексии. *Ожирение и метаболизм*. 2020;17(1):33-40.