



# Эволюция оценки состава тела: от индекса массы тела до профилирования состава организма

Киселева Е. В., Пигарова Е. А., Мокрышева Н. Г.

ФГБУ "НМИЦ эндокринологии" Минздрава России, Москва, Россия.

Ожирение в настоящее время представляет собой важную медико-социальную проблему, обусловленную ассоциированными с ним множественными состояниями, ухудшающими здоровье населения, что требует разработки точных и неинвазивных методов оценки состава тела для диагностики и мониторинга лечения данного заболевания. По прогнозу Всемирной федерации по борьбе с ожирением, к 2025г распространенность этого заболевания достигнет 21% у женщин и 18% у мужчин. Представлен обзор отечественной и зарубежной литературы на предмет различных методов оценки степени ожирения, а также определения композиционного состава тела в разрезе исторических достижений и критической оценки новых технологий.

**Ключевые слова:** ожирение, состав тела, метаболический синдром, магнитно-резонансная томография, индекс массы тела, МРТ, ИМТ.

**Для цитирования:** Киселева Е. В., Пигарова Е. А., Мокрышева Н. Г. Эволюция оценки состава тела: от индекса массы тела до профилирования состава организма. *FOCUS Эндокринология*. 2023;4(2):12-18. doi: 10.15829/2713-0177-2023-13. EDN NHKQST



## The evolution of body composition assessment: from body mass index to body composition profiling

Kiseleva E. V., Pigarova E. A., Mokrysheva N. G.

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia.

Obesity is currently an important medical and social problem due to the multiple associated conditions that worsen the health of the population. Thus, there is a need for the development of accurate and non-invasive methods of body composition assessment for the purposes of diagnosing and monitoring the treatment of this disease. According to the estimates of the World Obesity Federation, by 2025 the prevalence of this disease will reach 21% in women, and 18% in men. This literature review is dedicated to the subject of various methods for assessing the degree of obesity, as well as determining the composition of the body in the context of historical achievements and a critical assessment of new technologies.

**Keywords:** obesity, body composition, metabolic syndrome, magnetic resonance imaging, body mass index, MRI, BMI.

**For citation:** Kiseleva E. V., Pigarova E. A., Mokrysheva N. G. The evolution of body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. *FOCUS Endocrinology*. 2023;4(2):12-18. doi: 10.15829/2713-0177-2023-13. EDN NHKQST

### Введение

Оценка состава тела в настоящее время является значимым и востребованным методом и используется в клинической практике с целью диагностики и лечения ожирения у взрослых и детей, а также для изучения популяционной распространенности нарушений нутритивного статуса [1, 2].

Человеческое тело можно рассмотреть в нескольких проекциях: организменный уровень, тканевой, клеточный и молекулярный. Компонентом тканево-

го уровня является рассматриваемая нами в контексте метаболических нарушений жировая ткань, состоящая из адипоцитов с внеклеточной жидкостью, фибробластов, коллагеновых и эластических волокон. Важной составляющей клеточной массы тела являются клетки, которые в большей степени отвечают за метаболические процессы и, следовательно, наиболее подвержены изменчивости под влиянием питания и физических нагрузок. Здесь в первую очередь стоит упомянуть адипоциты, которые

выполняют не только функцию депо, но и способны синтезировать биологически активные вещества и способствовать возникновению системного воспаления [3]. И наконец, человеческое тело состоит из четырех компонентов молекулярного уровня: воды, белков, липидов и минеральных веществ [4]. Наибольший интерес в контексте рассмотрения метаболического здоровья представляет липидная фракция. Накоплено достаточно данных, доказывающих, что избыточное накопление жира, особенно висцерального, увеличивает риск сердечно-сосудистых и метаболических заболеваний [5-7]. Кроме того, большое влияние оказывает не только количество, но и распределение жировой ткани [8]. Это распределение зависит от пола, расы, генетической предрасположенности, образа жизни, характера питания. Поэтому при сравнении методов анализа состава тела важна их способность дифференцировать различные компартменты жировой ткани, а именно отделять жировые отложения (триглицериды) от воды, белков и минеральных веществ [4].

Одним из самых распространенных методов оценки жировых отложений является индекс массы тела (ИМТ), разработанный бельгийским социологом и статистиком Адольфом Кетле в 1869г. В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения создана интерпретация показателей ИМТ от избыточной массы тела (при ИМТ  $\geq 25$  и  $< 30$  кг/м<sup>2</sup>), до ожирения и его степеней (ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup>). Однако определение данного антропометрического параметра позволяет лишь косвенно оценить количество жировой ткани в организме, не предоставляя информацию о ее распределении [9], например, у спортсменов, у которых преобладание массы тела выражено за счет мышечной массы, а не жировой клетчатки. Также это касается таких групп пациентов, как беременные женщины, пациенты с чрезмерно развитой мускулатурой, выраженным отеком синдромом, нарушением роста и развития скелета, перенесшие ампутиацию конечностей или имеющие саркопенический синдром [10].

Для уточнения характера распределения жировой ткани может быть использовано измерение окружности талии и соотношения талии и бедер, которые наиболее существенно коррелируют с метаболическими рисками. Измерение толщины подкожно-жировых складок методом калиперометрии также может быть применено для расчета объема жировой и мышечной массы, но в условиях различных патологических процессов может давать ложные результаты: это в первую очередь касается пациентов на гемодиализе, где часто встречающаяся гипергидратация может увеличивать толщину кожно-жировой складки [11].

В настоящее время диапазон более детальной оценки жировых депо достаточно широк: биоэлектрический импеданс, гидростатическая денситоме-

трия, воздушная плевтизография, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA), компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). Количественная оценка распределения состава тела может использоваться для определения эффективности проводимой терапии ожирения как с использованием программ по снижению веса и физических упражнений, медикаментозной терапии, так и после бариатрических вмешательств.

Первые информативные обзоры по данному поводу в нашей стране были представлены в начале 60-х годов XX века, хотя, стоит отметить, что исследования в данной области начались задолго до того, когда стало очевидным, что высокое содержание жировой ткани в организме проявляется существенным риском для здоровья.

К настоящему времени разработано множество подходов к определению состава тела с использованием широкого спектра различных физических принципов и устройств. Цель настоящего обзора — дать краткое введение и сравнительные характеристики наиболее часто используемых методов анализа состава тела и особенностей их применения в клинической практике, а также представить вниманию методы томографической визуализации, такие как КТ и МРТ, которые успешно могут применяться для локальных измерений *in vivo* различных жировых отложений и жировой инфильтрации в органах [3]. Это особенно актуально в контексте изучения феномена эктопического накопления жира, способного к реализации паракринных эффектов [8].

### Биоимпедансный анализ

Биоимпедансный анализ активно используется в качестве метода оценки композиционного состава тела. Повсеместное его распространение связано с имеющимися преимуществами, включая низкую стоимость, портативность прибора и простоту измерения по сравнению с другими методиками [12].

Метод основан на измерении импеданса — электрического сопротивления тканей, возникающего при прохождении через них переменного тока. Различное морфофункциональное строение тканей определяет их различную проводимость, таким образом, анализ проводится на основании оценки количества жидкости в организме с помощью физических и эмпирических моделей [13]. Для этого используются две пары электродов в цепи "рука — туловище — нога" с применением тока постоянной частоты и малой мощности. В зависимости от вида анализатора исследование может проводиться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении, что расширяет возможность его применения для лежачих пациентов. Это быстрая и простая технология, с помощью которой можно оценить количество жировой и тощей массы, внутри- и вне-

клеточной жидкости, распространенность отеков, ИМТ, индивидуальное значение идеального веса [14]. В дополнение к измерению активного и реактивного сопротивления биоимпедансный анализ также может обеспечить оценку фазового угла — арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений для некоторой частоты тока. Значение фазового угла характеризует емкостные свойства клеточных мембран. Известно, что фазовый угол уменьшается с возрастом и увеличивается с ростом безжировой массы у мужчин и женщин [15]. Низкий фазовый угол связан с увеличением риска смерти для пациентов старше 65 лет [16].

Метод позволяет проводить анализ и динамический контроль за состоянием жировой, мышечной массы, общей воды в организме, косвенно оценивать риск развития метаболических осложнений.

Может применяться у пациентов на гемодиализе для оценки "сухого веса", часто используется для обследования детей и подростков с ожирением [2, 17], а также в спортивной практике [18]. С помощью применения технологии полисегментарной мультичастотной биоимпедансометрии возможна оценка водного баланса организма пациента с учетом гидратации вне- и внутриклеточных пространств. Несмотря на все преимущества метода, он все еще не является эталонным из-за ошибок, связанных с недавней физической нагрузкой пациента, его нутритивным статусом, особенностями в длине конечностей, расположением электродов [3, 14].

### **Гидростатическая денситометрия и плетизмография с вытеснением воздуха**

Гидростатическая денситометрия (метод подводного взвешивания) основана на различиях плотности жировой и мышечной ткани (плотность липидов меньше) с коррекцией на остаточный объем легких. С помощью ряда формул после взвешивания пациента и оценки остаточного объема легких вычисляется плотность тела и процентное содержание жира в организме. Метод ограничен в применении и не может быть использован в рутинной клинической практике в связи с его техническими сложностями: длительность исследования около 1 часа, дискомфорт для пациента — необходимость погружения в воду [19].

Существует и другой метод физического измерения — воздушная плетизмография. Объем тела оценивается как объем воздуха в пустой камере минус объем воздуха в камере после того, как в нее помещается человек. Исследуемого помещают в закрытую камеру, и, измеряя объем камеры, можно определить объем вытесненного воздуха по изменению давления воздуха. Время измерения составляет 5–8 мин [20]. Метод позволяет измерить общую плотность тела, общее количество жира в организме, но не его распределение. Он также требует специаль-

ного оснащения и обученного персонала, поскольку измерение жировой массы проводится в воздушной камере, что также затрудняет его повсеместное применение [20].

### **Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (DXA)**

С помощью DXA стало возможным определить индекс жировой и безжировой массы, индекс аппендикулярной тощей массы, соотношение жира туловище/конечности, а также минеральную костную плотность (что позволяет активно использовать метод для оценки возрастных изменений костной ткани и диагностики остеопороза). Принцип DXA заключается в особенностях взаимодействия рентгеновских лучей с различными тканями (костной, жировой и др.) и зависит от их физико-химических свойств. Ослабление выходящего потока определяется толщиной, плотностью и химическим составом исследуемой области, и поддается измерению [19, 20].

В ряде работ разрабатывались референсные значения состава тела, критерии диагностики ожирения с применением индекса жировой массы на основе результатов, полученных в ходе проведения рентгеновской абсорбциометрии, позволяющие диагностировать и классифицировать ожирение, аналогично стандартным антропометрическим методикам [21]. Возможной стала и диагностика саркопении на основании определения индекса аппендикулярной тощей массы, который снижается у пожилых людей, особенно у пациентов с сахарным диабетом 2 типа [22]. Метод является достаточно комфортным для пациента, т.к. выполняется за несколько минут и позволяет получить результаты в течение короткого периода времени после проведения. Но несмотря на все преимущества, не стоит забывать о наличии рентгеновского излучения во время исследования, что значительно ограничивает частоту его применения у одного и того же пациента, а значит препятствует частому динамическому наблюдению. Аппараты для его проведения не всегда позволяют выдержать большие весовые категории и при этом имеют достаточно высокую стоимость.

### **Ультразвуковое исследование**

С помощью ультразвукового исследования (УЗИ) можно оценить количество подкожной жировой ткани (ПЖТ) или висцеральной жировой ткани (ВЖТ), а также массу скелетных мышц. Проводят измерение расстояния между передней стенкой аорты и задней поверхностью прямых мышц живота на уровне 5 см ниже мечевидного отростка с последующей оценкой толщины ВЖТ и ПЖК, определяемой на этом же уровне, а также соотношение ВЖТ/ПЖТ. Было показано, что объем ВЖТ и ПЖТ, полученный с помощью УЗИ, коррелирует с данным КТ

и МРТ, а также с показателями нарушения углеводного и липидного обмена у больных с метаболическим синдромом [23].

Измерение массы скелетных мышц особенно важно при обследовании пожилых пациентов с саркопенией или тяжелых больных, потеря мышечной массы у которых происходит стремительно и может влиять на прогноз. Наиболее часто при УЗИ используется измерение толщины четырехглавой мышцы. В исследованиях было показано, что данный параметр может быть вспомогательным при оценке тяжести состояния пациента во время пребывания в отделении интенсивной терапии и служить показателем эффективности нутритивной поддержки и реабилитационных мероприятий [24].

Стоит отметить, что золотым стандартом измерения мышечной ткани является DXA, КТ или МРТ, однако их применение сильно ограничено ввиду высокой стоимости или недоступности, что требует альтернативного, более простого метода, которым и является УЗИ.

## КТ

Визуализирующие методы, такие как КТ и МРТ, заслуживают признания их "золотым стандартом" для расширенного анализа состава тела человека, в частности, для количественного определения компартментов жировой ткани и мышц.

Метод КТ основан на вычислении коэффициента ослабления или затухания рентгеновского излучения, проходящего через тело пациента. С целью определения объема ПЖТ или ВЖТ обычно достаточно срезов на уровне поясничного отдела позвоночника, преимущественно L1-L3, поскольку именно в этой области распределение жировой ткани коррелирует с ее распределением во всем организме [20]. Кроме того, это важно с точки зрения минимизации лучевой нагрузки на пациента. Одним из преимуществ метода является его высокая доступность и частое использование для оценки степени прогрессирования некоторых заболеваний. В таких случаях применение КТ в совокупности с анализом объема мышечной и жировой тканей может быть полезно при обследовании пациентов с циррозом печени, различными видами рака или находящихся в критическом состоянии, объем мышечной и жировой тканей у которых может оказывать влияние на исходы [25].

## МРТ

Высокая степень визуализации мягких тканей на магнитно-резонансных изображениях, в сочетании с доступностью метода и отсутствием ионизирующего излучения, делает МРТ предпочтительным методом выбора.

Поскольку водород входит в состав многих тканей организма, и его единственный протон обла-

дает высоким магнитным моментом, это позволяет использовать магнитное поле, создающееся вокруг тела человека во время МРТ [26]. Полученные изображения помогают надежно отделить подкожно-жировую клетчатку от висцерального жира, обеспечить количественное измерение объема жировой ткани и даже определить количество жира в паренхиматозных органах [27].

Оригинальной в этом плане является МРТ, основанная на методе Диксона, который позволяет проводить разделение сигналов от разных тканей по их различиям в химических сдвигах [28]. Например, оценить небольшое количество висцерального жира, выявить любые жировые изменения в очаге поражения, а также дифференцировать макроскопический жир от внутриклеточного [29]. Это особенно важно для пациентов с онкологическими заболеваниями в анамнезе, когда обнаружение какого-либо нового очага в период наблюдения всегда вызывает подозрения на предмет метастатического процесса и влияет на клиническое решение. Метастатические очаги паренхиматозных органов могут имитировать диффузные жировые изменения на ультразвуковых изображениях и компьютерных томограммах. Кроме того, очаговый стеатоз печени, который часто развивается у пациентов на длительной химиотерапии, или доброкачественные образования печени (такие как аденома), могут имитировать опухоль [30]. Основываясь на данных о содержании внутриклеточного жира в клетках аденомы, в 35-77% случаев при МРТ можно предотвратить диагностические ошибки [31] и отличить жир от опухолевой ткани.

При регистрации изображений по методу Диксона возможно построить карты фракции жира, вычисляя относительное содержание жира, обозначаемое как FF (англ. fat fraction), которое рассчитывается по формуле: исходящий сигнал от протонов жира (SFat), разделенный на сумму сигналов протонов жира и воды (SH20): Fat Fraction (FF) = (SFat) / (SH20 + SFat).

Параметр FF можно использовать как количественный показатель биологических и патологических процессов.

Любой анализ состава тела с помощью МРТ можно разделить на три основных этапа: получение изображения, его сегментация и количественная оценка тканей. Каждый этап является чрезвычайно важным и может повлиять на итоговый результат. При построении магнитно-резонансного изображения объективно сложно определить физические свойства тканей отображаемого объекта по значению его интенсивности (в отличие от КТ, где используется оценка по шкале Хаунсфилда) [32]. В таком случае интерпретация изображений должна основываться исключительно на визуальном уровне: в этом помогают T1 и T2-взвешенные изображения. Жировая ткань хо-



рошо дифференцируется на T1-взвешенных изображениях, поскольку она дает яркий сигнал высокой интенсивности, в отличие от окружающих тканей, а "свободная жидкость" проявляется как темное изображение. На T2-взвешенных изображениях жир также дает гиперинтенсивный сигнал, однако выглядит темнее, чем на T1.

Дискуссионным является вопрос стандартизации протоколов анатомического расположения срезов для измерения жировой клетчатки, которая бы давала достоверную информацию о распределении жировой ткани. Несколько исследований продемонстрировали, что измерение площади сечения подкожной жировой клетчатки в одном срезе, проведенном на уровне L3-L4, наиболее коррелирует с подкожной клетчаткой всего тела. Наиболее точно отражают количество абдоминальной жировой ткани срезы, проведенные на уровне 5-10 см выше L4-L5, либо на уровне T12-L1 [33, 34]. Поскольку ВЖТ обнаруживается преимущественно в нижней трети живота, где кишечник и органы малого таза не имеют сильной асимметрии, получить достоверные данные о количестве висцерального жира можно без вовлечения в исследование верхних отделов брюшной полости, которые составляют лишь небольшую часть этого жира [35].

В литературе имеется достаточно данных, позволяющих утверждать, что измерение объема и массы жировой ткани по данным МРТ коррелирует с традиционными и наиболее распространенными методами. Вместе с ростом массы тела увеличивается ИМТ и окружность талии, что свидетельствует о нарастании массы ВЖТ, сопоставимой с объемом висцерального жира, определяемого методом МРТ. Этот факт нельзя оставлять без внимания, поскольку существенные метаболические нарушения происходят уже на этапе перехода нормальной массы тела в избыточную, что делает это состояние патологическим и требует реагирования для предотвращения возникновения ожирения и связанных с ним проблем [36].

Показано, что при оценке антропометрических показателей у пациентов с использованием ИМТ в сравнении с данными, полученными в результате магнитно-резонансного сканирования, к группе ожирения можно отнести только пациентов с крайне выраженными количественными показателями абдоминальной жировой ткани. Тогда как выполнение МРТ на уровне поясничного отдела позвоночника позволяет дополнительно выявить пациентов с признаками ожирения по увеличению площади ВЖТ, даже если они имели нормальные показатели ИМТ [37]. При исследовании влияния медикаментозного лечения ожирения на количество ВЖТ, на основании МРТ было диагностировано висцеральное ожирение у пациента с нормальной окружностью талии [38]. Ludescher B, et al. сравнивали об-

щее распределение жира в организме по данным МРТ с полученными антропометрическими показателями. В исследование было включено 68 добровольцев, у которых с помощью МРТ определяли общий объем жировой ткани, объем подкожно-жировой клетчатки и объем висцерального жира, а также расстояние от апоневроза прямой мышцы живота до края брюшной аорты. Из рутинных методик применялись расчет ИМТ, окружности талии, толщина подкожно-жировой складки, биоимпедансометрия. В целом результаты измерения общего содержания жира в организме и толщины подкожно-жировой клетчатки коррелировали друг с другом по результатам всех исследований. Авторы сделали вывод, что в случае, когда необходимо исследовать объем висцерального жира, который увеличивает риск сердечно-сосудистых осложнений, визуализирующие методы, такие как МРТ, не могут быть заменены более простыми [39].

### Перспективы развития магнитно-резонансных технологий

Для расширения возможностей при обследовании людей с ожирением создается потребность и в упрощении обработки полученных данных. Полностью ручной анализ изображений, которые охватывают большую часть человеческого тела, требует чрезвычайно много времени и ресурсов, что становится возможным только при проведении серьезных и больших исследований. Однако данная область не стоит на месте и работы по внедрению автоматизированных методов оценки объемов жировой и мышечной ткани постепенно появляются. Возможность использования высокоавтоматизированного метода анализа в большом популяционном исследовании была продемонстрирована West J, et al.: обследовано 3 тыс. пациентов на предмет количественного определения объема ВЖТ и абдоминальной подкожно-жировой клетчатки [40]. Это не может не свидетельствовать о больших перспективах в отношении развития этой визуализирующей методики и поэтому требует наиболее тщательной разработки технологий. В связи с этим были также предложены другие модификации методики, такие как количественный магнитный резонанс и совмещение с позитронно-эмиссионной томографией (ПЭТ). Система количественного магнитного резонанса (the quantitative magnetic resonance — QMR) является одним из новейших способов определения состава тела, который уже давно используется в исследованиях на животных [14]. Используя различные последовательности импульсов, система количественного магнитного резонанса обеспечивает оценку массы жировой ткани, мышечной ткани, свободной воды и общего количества воды в организме при минимальном их изменении. Однако, поскольку метод является новым и дорогостоящим,

безусловно, требуется проведение дальнейших исследований [41, 42].

### ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ

При проведении ПЭТ используется индикатор (чаще  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкоза), который вводится в организм и накапливается в тканях с высоким метаболизмом глюкозы. Проникновение индикатора происходит по физиологическому механизму обмена глюкозы. Накопление препарата можно отследить при ПЭТ-сканировании, отдельно или в сочетании с КТ. Поскольку ПЭТ-сканирование используется для выявления очагов повышенной метаболической активности, эта технология может быть применена для обнаружения депо бурой жировой ткани (БЖТ). Хотя распространенность БЖТ у людей оценивается как очень низкая, некоторые исследования выявили обратную связь между содержанием БЖТ и ИМТ у детей и взрослых [43, 44]. Таким образом, есть мнение, что увеличение количества БЖТ связано с меньшей степенью ожирения и более благоприятным метаболическим профилем. Это порождает большой интерес к разработке способов активации БЖТ и трансформации белой жировой ткани в бурую [45].

Недостатком использования ПЭТ/КТ, наряду с высокой стоимостью, является рентгеновское излучение. Кроме того, при использовании ПЭТ/КТ с  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозой обнаружение БЖТ возможно путем оценки ее плотности и метаболической активности, при этом получение остальных характеристик ткани невозможно. В качестве альтернативы была предложена ПЭТ/МРТ, не предполагающая лучевой нагрузки, дающая многопараметрическую характеристику жира с помощью специальных последовательностей МРТ и позволяющая

проводить повторные измерения. Благодаря магнитно-резонансной визуализации возможно подтвердить наличие и размеры БЖТ в интересующей области на основании данных о более высоком содержании воды в ней [43]. Таким образом, гибридный ПЭТ/МРТ может представлять собой идеальный инструмент для оценки БЖТ [46].

### Заключение

Возникшая эпидемия ожирения и связанных с ним патологий требует разработки наиболее точных и неинвазивных методов определения состава тела. Измерение количества и изменений массы жировой ткани чрезвычайно важно для анализа механизмов, приводящих к метаболическому дисбалансу, а также оценки эффективности проводимого лечения. Самые простые и рутинные антропометрические параметры (ИМТ, окружность талии) не позволяют диагностировать висцеральное ожирение и не могут давать достоверную информацию о нутритивном статусе отдельных групп пациентов. МРТ, в свою очередь, является "золотым стандартом" в оценке количества жировой ткани и позволяет выделить категорию пациентов с висцеральным ожирением там, где другие методы бессильны. Кроме того, МРТ дает доступ к точному и прямому измерению эктопического жира (например, жировых отложений в печени) или диффузной инфильтрации в мышцах, а также расположения и размеров БЖТ. Внедрение в широкую клиническую практику данного метода является наиболее перспективным этапом развития диагностики ожирения и требует усовершенствования протоколов обследования пациента с избыточной массой тела, определения оптимального уровня и количества срезов, развития высокоавтоматизированных программ анализа изображений.

### Литература/References

- Dedov II, Mokrysheva NG, Mel'nichenko GA, et al. Obesity. Clinical guidelines. Consilium Medicum. 2021;23(4):311-25. (In Russ.) Дедов И.И., Мокрышева Н.Г., Мельниченко Г.А. и др. Ожирение. Клинические рекомендации. Consilium Medicum. 2021;23(4):311-25. doi:10.26442/20751753.2021.4.200832.
- Peterkova VA, Bezlepina OB, Bolotova NV, et al. Clinical guidelines "Obesity in children". Problems of Endocrinology. 2021;67(5):67-83. (In Russ.) Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В. и др. Клинические рекомендации "Ожирение у детей". Проблемы эндокринологии. 2021;67(5):67-83. doi:10.14341/probl12802.
- Maximus PS, Al Achkar Z, Hamid PF, et al. Adipocytokines: Are they the Theory of Everything? Cytokine. 2020;133:155144. doi:10.1016/j.cyt.2020.155144.
- Borga M, West J, Bell JD, et al. Advanced body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. J Investig Med. 2018;66(5):1-9. doi:10.1136/jim-2018-000722.
- Neeland IJ, Ayers CR, Rohatgi AK, et al. Associations of visceral and abdominal subcutaneous adipose tissue with markers of cardiac and metabolic risk in obese adults. Obesity (Silver Spring). 2013;21(9):E439-47. doi:10.1002/oby.20135.
- Brunt EM, Wong VW, Nobili V, et al. Nonalcoholic fatty liver disease. Nature Reviews Disease Primers. 2015;1:15080. doi:10.1038/nrdp.2015.80.
- Stanford KI, Goodyear LJ. Muscle-Adipose Tissue Cross Talk. Cold Spring Harb Perspect Med. 2018;8(8):a029801. doi:10.1101/cshperspect.a029801.
- Blüher M. Metabolically Healthy Obesity. Endocr Rev. 2020;41(3):bnaa004. doi:10.1210/edrv/bnaa004.
- Chan DC, Watts GF, Barrett PH, et al. Waist circumference, waist-to-hip ratio and body mass index as predictors of adipose tissue compartments in men. QJM. 2003;96:441-7.
- Dedov II, Shestakova MV, Mel'nichenko GA, et al. Interdisciplinary clinical practice guidelines "Management of obesity and its comorbidities". Obesity and metabolism. 2021;18(1):5-99. (In Russ.) Дедов И.И., Шестакова М.В., Мельниченко Г.А. и др. Междисциплинарные клинические рекомендации "Лечение ожирения и коморбидных заболеваний". Ожирение и метаболизм. 2021;18(1):5-99. doi:10.14341/omet12714.
- Fouque D, Vennegoor M, ter Wee P, et al. EBP guideline on nutrition. Nephrol Dial Transplant. 2007;22 Suppl 2:ii45-87. doi:10.1093/ndt/ftm020.
- Barbosa-Silva MC, Barros AJ. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2005;8(3):311-7. doi:10.1097/01.mco.0000165011.69943.39.
- Gaivoronskiy IV, Nichiporuk GI, Gaivoronskiy IN, Nichiporuk NG. Bioimpedansometry as a method of the component body structure assessment (review). Vestnik SPbSU. Medicine. 2017;12(4):365-84. (In Russ.) Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И., Гайворонский И.Н., Ничипорук Н.Г. Биоимпедансометрия как метод оценки компонентного состава тела человека (обзор литературы). Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2017;12(4):365-84. doi:10.21638/11701/spbu11.2017.406.
- Lemos T, Gallagher D. Current body composition measurement techniques. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes. 2017;24(5):310-4. doi:10.1097/MED.0000000000000360.
- Gonzalez MC, Barbosa-Silva TG, Bieleman RM, et al. Phase angle and its determinants in healthy subjects: influence of body composition. Am J Clin Nutr. 2016;103(3):712-6. doi:10.3945/ajcn.115.116772.
- Genton L, Herrmann FR, Spörri A, Graf CE. Association of mortality and phase angle measured by different bioelectrical impedance analysis (BIA) devices. Clin Nutr. 2018;37(3):1066-9. doi:10.1016/j.clnu.2017.03.023.

17. Kurlykin AV, Konstantinova AN, Yakimenko VA, Ovsyannikov YuG. Bioimpedance Analysis as Part of Pre-Surgery Examination in Pediatric Hematology: Literature Review. *Hematology*. 2016;5(122):36-9. (In Russ.) Курлыкин А.В., Константинова А.Н., Якименко В.А., Овсянников Ю.Г. Биоимпедансометрия в комплексе предоперационного обследования в детской гематологии (обзор литературы). *Доктор.Ру. Гематология*. 2016;5(122):36-9.
18. Campa F, Toselli S, Mazzilli M, et al. Assessment of Body Composition in Athletes: A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. *Nutrients*. 2021;13(5):1620. doi:10.3390/nu13051620.
19. Martirosov EG, Nikolaev DV, Rudnev SG. Technologies and methods of human body composition assessment. Moscow: Nauka, 2006. p. 81-4. (In Russ.) Мартыросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006, с. 81-4.
20. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian J Med Res*. 2018;148(5):648-58. doi:10.4103/ijmr.IJMR\_1777\_18.
21. Kelly TL, Wilson KE, Heymsfield SB. Dual energy X-ray absorptiometry body composition reference values from NHANES. *PLoS One*. 2009;4(9):e7038. doi:10.1371/journal.pone.0007038.
22. Misnikova IV, Kovaleva YuA, Klimina NA, Polyakova EYu. Assessment of muscle and fat mass in type 2 diabetes mellitus patients by dual-energy X-ray absorptiometry. *Almanac of Clinical Medicine*. 2018;46(3):222-32. (In Russ.) Мисникова И.В., Ковалева Ю.А., Климина Н.А., Полякова Е.Ю. Оценка мышечной и жировой массы у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа по результатам двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. *Альманах клинической медицины*. 2018;46(3):222-32. doi:10.18786/2072-0505-2018-46-3-222-232.
23. Suslyayeva NM, Zavadovskaya VD, Zavyalova NG, et al. Ultrasound evaluation of visceral obesity. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2014;(4):53-9. (In Russ.) Суслева Н.М., Завадовская В.Д., Шульга О.С. и др. Возможности ультразвукового исследования в диагностике висцерального ожирения. *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2014;(4):53-9.
24. Gruther W, Benesch T, Zorn C, et al. Muscle wasting in intensive care patients: ultrasound observation of the M. quadriceps femoris muscle layer. *J Rehabil Med*. 2008;40(3):185-9. doi:10.2340/16501977-0139.
25. Paris MT. Body Composition Analysis of Computed Tomography Scans in Clinical Populations: The Role of Deep Learning. *Lifestyle Genom*. 2020;13(1):28-31. doi:10.1159/000503996.
26. Westbrook C, Kaut Roth C, Talbot J. MRI in practice. Moscow: BINOM. Knowledge laboratory, 2015. p. 37-8. (In Russ.) Уэстбрук К., Каут Рот К., Тэлбот Д. Магнитно-резонансная томография: практическое руководство; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. с. 37-8.
27. Middleton MS, Haufe W, Hooker J, et al. Quantifying Abdominal Adipose Tissue and Thigh Muscle Volume and Hepatic Proton Density Fat Fraction: Repeatability and Accuracy of an MR Imaging-based, Semiautomated Analysis Method. *Radiology*. 2017;283(2):438-49.
28. Bray TJ, Chouhan MD, Punwani S, et al. Fat fraction mapping using magnetic resonance imaging: insight into pathophysiology. *Br J Radiol*. 2018;91:20170344.
29. Unal E, Karaosmanoğlu AD, Akata D, et al. Invisible fat on CT: making it visible by MRI. *Diagn Interv Radiol*. 2016;22(2):133-40. doi:10.5152/dir.2015.15286.
30. Robinson PJ. The effects of cancer chemotherapy on liver imaging. *Eur Radiol*. 2009;19:1752-62.
31. Chung KY, Mayo-Smith WW, Saini S, et al. Hepatocellular adenoma: MR imaging features with pathologic correlation. *AJR Am J Roentgenol*. 1995;165:303-8.
32. Borga M. MRI adipose tissue and muscle composition analysis-a review of automation techniques. *Br J Radiol*. 2018;91(1089):20180252. doi:10.1259/bjr.20180252.
33. Shen W, Punyanya M, Chen J, et al. Visceral adipose tissue: relationships between single slice areas at different locations and obesity-related health. *Int J Obes (Lond)*. 2007;31:763-9.
34. Irlbeck T, Massaro JM, Bamberg F, et al. Association between single-slice measurements of visceral and abdominal subcutaneous adipose tissue with volumetric measurements: the Framingham Heart Study. *Int J Obes (Lond)*. 2010;34:781-7.
35. Linder N, Solty K, Hartmann A, et al. Half-body MRI volumetry of abdominal adipose tissue in patients with obesity. *BMC Med Imaging*. 2019;19(1):80. doi:10.1186/s12880-019-0383-8.
36. Markova TN, Kichigin VA, Diomidova VN, et al. Evaluation of adipose tissue mass with anthropometric and visualization methods; its relation to the components of the metabolic syndrome. *Obesity and metabolism*. 2013;10(2):23-7. (In Russ.) Маркова Т.Н., Кичигин В.А., Диомидова В.Н. и др. Оценка объема жировой ткани антропометрическими и лучевыми методами и его связь с компонентами метаболического синдрома. *Ожирение и метаболизм*. 2013;10(2):23-7. doi:10.14341/2071-8713-4820.
37. Kokov AN, Brel NK, Masenko VL, et al. Quantitative assessment of visceral adipose depot in patients with ischemic heart disease by using of modern tomographic methods. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2017;(3):113-9. (In Russ.) Коков А.Н., Брель Н.К., Масенко В.Л. и др. Количественная оценка висцерального жирового депо у больных ишемической болезнью сердца с использованием современных томографических методик. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2017;(3):113-9. doi:10.17802/2306-1278-2017-6-3-113-119.
38. Romantsova TI, Poluboyarino IV, Roik OV. Dynamics of adipose tissue changes measured by MRI in obese patients during Reduxin treatment. *Obesity and metabolism*. 2012;9(4):39-43. (In Russ.) Романцова Т.И., Полубояринова И.В., Роик О.В. Динамика состояния жировой ткани по данным МР-томографии у больных ожирением на фоне лечения Редуксином. *Ожирение и метаболизм*. 2012;9(4):39-43. doi:10.14341/2071-8713-5128.
39. Ludescher B, Machann J, Eschweiler GW, et al. Correlation of fat distribution in whole body MRI with generally used anthropometric data. *Invest Radiol*. 2009;44:712-9.
40. West J, Dahlqvist Leinhard O, Romu T, et al. Feasibility of MR-Based Body Composition Analysis in Large Scale Population Studies. *PLoS One*. 2016;11(9):e0163332. doi:10.1371/journal.pone.0163332.
41. Muller MJ, Enderle J, Pourhassan M, et al. Metabolic adaptation to caloric restriction and subsequent refeeding: the Minnesota Starvation Experiment revisited. *Am J Clin Nutr*. 2015;102:807-19.
42. Napolitano A, Miller SR, Murgatroyd PR, et al. Validation of a quantitative magnetic resonance method for measuring human body composition. *Obesity (Silver Spring)*. 2008;16(1):191-8. doi:10.1038/oby.2007.29.
43. Franz D, Karampinos DC, Rummeny EJ, et al. Discrimination between brown and white adipose tissue using a 2-point Dixon water-fat separation method in simultaneous PET/MRI. *Nucl Med*. 2015;56:1742-7.
44. Sun L, Yan J, Sun L, et al. A synopsis of brown adipose tissue imaging modalities for clinical research. *Diabetes Metab*. 2017;43(5):401-10. doi:10.1016/j.diabet.2017.03.008.
45. Bartelt A, Heeren J. Adipose tissue browning and metabolic health. *Nat Rev Endocrinol*. 2014;10(1):24-36. doi:10.1038/nrendo.2013.204.
46. Gariani K, Gariani J, Amzalag G, et al. Hybrid PET/MRI as a tool to detect brown adipose tissue: Proof of principle. *Obes Res Clin Pract*. 2015;9(6):613-7. doi:10.1016/j.orcp.2015.05.004.

БЖТ — бурая жировая ткань, ВЖТ — висцеральная жировая ткань, ИМТ — индекс массы тела, КТ — компьютерная томография, МРТ — магнитно-резонансная томография, ПЖТ — подкожная жировая ткань, ПЭТ — позитронно-эмиссионная томография, УЗИ — ультразвуковое исследование, ДХА — двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (Dual-energy X-ray absorptiometry), FF — Fat Fraction.

**Отношения и деятельность.** Статья подготовлена в рамках темы госзадания "Центральные и периферические патофизиологические механизмы развития болезней жировой ткани с учетом клинических и гормональных характеристик" АААА-А20-120011790162-0.

Киселева Е. В.\* — клиническийординатор, ORCID: 0000-0003-4811-9193, Пигарова Е. А. — д.м.н., директор Института высшего и дополнительного профессионального образования, ORCID: 0000-0001-6539-466X, Мокрышева Н. Г. — д.м.н., профессор, член-корр. РАН, ORCID: 0000-0002-9717-9742.

Рукопись получена 27.01.2023 Рецензия получена 26.03.2023  
Принята к публикации 20.04.2023

**Relationships and Activities.** The work was carried out as part of the study "Central and peripheral pathophysiological mechanisms of development of adipose tissue diseases, taking into account clinical and hormonal characteristics" АААА-А20-120011790162-0.

Kiseleva E. V.\* ORCID: 0000-0003-4811-9193, Pigarova E. A. ORCID: 0000-0001-6539-466X, Mokrysheva N. G. ORCID: 0000-0002-9717-9742.

\*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):  
kiseleva.ewe@mail.ru

Received: 27.01.2023 Revision Received: 26.03.2023 Accepted: 20.04.2023