



Диагностика композиционного состава тела пожилого человека людей для оценки прогноза состояния его здоровья

Булгакова С. В., Курмаев Д. П., Тренева Е. В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (ул. Чапаевская, д. 89, г. Самара, 443099, Россия)

Для цитирования: Булгакова С. В., Курмаев Д. П., Тренева Е. В. Диагностика композиционного состава тела пожилого человека людей для оценки прогноза состояния его здоровья. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2024; 222 (2): 89–100. DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-222-2-89-100

✉ Для переписки:

Булгакова

Светлана

Викторовна

osteoporosis63@

gmail.com

Булгакова Светлана Викторовна, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой эндокринологии и гериатрии

Курмаев Дмитрий Петрович, к.м.н., ассистент кафедры эндокринологии и гериатрии

Тренева Екатерина Вячеславовна, к.м.н., доцент кафедры эндокринологии и гериатрии

Резюме

Старение ассоциировано с изменением состава тела, которое представляет собой увеличение доли жировой массы, как правило, на фоне уменьшения мышечной массы. Кроме того, ожирение часто ассоциировано с метаболическим синдромом, сахарным диабетом 2 типа (СД2), сердечно-сосудистыми заболеваниями. Висцеральное ожирение более опасно, чем избыточное накопление подкожного жира. Точная оценка состава тела может дать полезную информацию о здоровье и функциях организма. Однако бывает трудно определить точное содержание скелетно-мышечной и жировой ткани в организме гериатрических пациентов. Антропометрические методы простые в применении и не требуют сложного и дорогостоящего оборудования, однако они малоинформативны и обладают невысокой точностью. Актуальным является вопрос своевременной диагностики композиционного состава тела у людей старших возрастных групп, для прогноза риска развития хронических неинфекционных заболеваний, инвалидизации.

Ключевые слова: старение, полиморбидность, саркопения, ожирение, саркопеническое ожирение, состав тела, биоимпедансный анализ, компьютерная томография, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, магнитно-резонансная томография

EDN: ANCIYK



Diagnostics of the body composition of an elderly person to assess the prognosis of his health

S. V. Bulgakova, D. P. Kurmaev, E. V. Treneva

Samara State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, (89, Chapayevskaya str., Samara, 443099, Russia)

For citation: Bulgakova S. V., Kurmaev D. P., Treneva E. V. Diagnostics of the body composition of an elderly person to assess the prognosis of his health. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024; 222 (2): 89–100. (In Russ.) DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-222-2-89-100

✉ Corresponding

author:

Svetlana V. Bulgakova

osteoporosis63@

gmail.com

Svetlana V. Bulgakova, MD, PhD, the associate professor, Head of department of endocrinology and geriatrics;

ORCID: 0000-0003-0027-1786, SPIN: 9908-6292

Dmitry P. Kurmaev, PhD (Medicine), assistant of department of endocrinology and geriatrics; ORCID: 0000-0003-4114-5233,

SPIN: 2179-5831

Ekaterina V. Treneva, PhD (Medicine), associate professor of department of endocrinology and geriatrics; ORCID: 0000-0003-0097-7252, SPIN: 3522-7865

Summary

Aging is associated with a change in body composition, which is an increase in the proportion of fat mass, usually against with decrease in muscle mass. In addition, obesity is often associated with metabolic syndrome, type 2 diabetes mellitus (DM2),

and cardiovascular diseases. Visceral obesity is more dangerous than excessive accumulation of subcutaneous fat. An accurate assessment of body composition can provide useful information about the health and functions of the body. However, it can be difficult to determine the exact content of musculoskeletal and adipose tissue in the body of geriatric patients. Anthropometric methods are easy to use and do not require complex and expensive equipment, but they are uninformative and have low accuracy. The issue of timely diagnosis of the compositional composition of the body in older age groups is relevant for predicting the risk of developing chronic non-communicable diseases, disability.

Keywords: aging, polymorbidity, sarcopenia, obesity, sarcopenic obesity, body composition, bioimpedance analysis, computed tomography, dual-energy x-ray absorptiometry, magnetic resonance imaging.

Введение

При старении организма возникают патологические изменения состава тела, ассоциированные с многочисленными заболеваниями, такими как саркопения, ожирение и сахарный диабет 2 типа (СД2). По данным Al-Sofiani M. E. et al. (2019), старение связано с изменениями в составе тела, включая как увеличение жировой массы, так и потерю мышечной массы, и связано с повышенным риском развития СД2. Более того, с возрастом у взрослых происходят изменения в распределении жировой ткани, которые могут способствовать повышению риска развития СД2 [1].

Ожирение возникает в результате дисбаланса между потреблением и расходом энергии в течение длительного периода, и характеризуется чрезмерным накоплением жира и увеличением соотношения жира и мышц. Ожирение стало глобальной эпидемией в течение последнего десятилетия и считается основным причинным фактором многочисленных заболеваний. По данным ВОЗ, с 1975 года распространенность ожирения во всем мире увеличилась почти в три раза. В 2016 году более 1,9 миллиарда людей в возрасте 18 лет и старше имели избыточный вес, из них более 650 миллионов страдали ожирением. В 2016 году 39% взрослых в возрасте 18 лет и старше имели избыточный вес, а 13% страдали ожирением [2]. Во всем мире наблюдается повышенная гомогенизация рационов, так что еда в развитых и развивающихся странах, как правило, является калорийной, богатой питательными веществами и сильно обработанной. Люди чаще стали вести сидячий образ жизни в дополнение к измененным диетам [3]. Интересно, что до широкого распространения индустриализации человечество практически не сталкивалось с ожирением. По словам Jozsa L. G. (2011), висцеральное ожирение может функционировать как «эволюционный сувенир», усугубляемый современными стрессорами. Во времена, когда *Homo Sapiens* сталкивался с кратковременными стрессами, обусловленными борьбой или бегством, активность кортизола и измененная метаболическая функция, возможно, способствовали большему репродуктивному преимуществу и выживанию. Однако хронический стресс в технологически развитых обществах создает современные метаболические проблемы, прежде всего в виде увеличения отложений висцерального жира, изменения жирового обмена и связанных с этим рисков сердечно-сосудистых заболеваний, СД2 и метаболического синдрома [4]. Даже в странах восточной Азии индустриализация

приводит к усилению воздействия западных норм, в первую очередь западных диет, которые включают мясо с высокой степенью переработки, фаст-фуд, сахар (особенно подслащенные газированные напитки) и жиры [5].

Существуют научные данные, свидетельствующие о том, что увеличение висцерального жира связано с инсулинорезистентностью и липотоксичностью. Висцеральное ожирение связано с риском СД2, дислипидемии, сердечно-сосудистых заболеваний [6]. Кроме того, ожирение повышает риск развития и других заболеваний, прямо не связанных с метаболическими нарушениями. Так, по данным систематического обзора из 33 исследований, выполненного Vossara E. et al. (2023), ожирение ассоциировано со снижением когнитивных способностей, при этом наиболее опасным является висцеральное ожирение [7].

Саркопения, определяемая экспертами Европейской рабочей группы по саркопении у пожилых людей (EWGSOP2) как потеря мышечной силы, массы и функции у пожилых людей, была признана независимым состоянием, которое увеличивает риск падений и старческой астении [8]. В пожилом и старческом возрасте к ожирению зачастую присоединяется саркопения, образуя новую нозологическую единицу — саркопеническое ожирение (СО) [9]. Согласно консенсусу по саркопеническому ожирению, опубликованному экспертами ESPEN и EASO в 2022 году, СО представляет собой не просто сосуществование саркопении и ожирения. При СО патологические состояния связаны общими звеньями клинических проявлений, этиологии, патогенеза; совокупность патологических изменений наблюдается на организменном, тканевом, клеточном и субклеточном уровнях [6]. СО могут страдать до 30% пожилых людей, и его распространенность варьируется в зависимости от пола, расы и этнической принадлежности. СО среди пожилых и старых людей является серьезной глобальной проблемой, особенно в развитых странах [10]. Методы лечения ожирения и СО могут сопровождаться осложнениями. Метаболические (бариатрические) операции являются очень эффективными при лечении тяжелого ожирения и, как правило, связаны с потерей жировой массы (что и является полезным результатом) и мышечной массы (что может привести к саркопении) [1].

В клинической практике врачей разных специальностей возникает необходимость определения

состава тела. Состав тела является важным показателем состояния питания, метаболизма и здоровья в целом [11]. Измерение состава тела позволяет лучше понять происхождение заболеваний и помогает определить соответствующие планы лечения [12, 13].

Антропометрические параметры, такие как окружность талии и икр, коррелируют с составом тела. По данным Sci L. H. et al. (2014), окружность талии обратно пропорциональна минеральной плотности костной ткани [14]. В то время как в исследовании Kawakami R. et al. (2015) было показано, что окружность икр положительно коррелирует с аппендикулярной массой скелетных мышц [15]. В целом, антропометрические методы просты в применении и не требуют сложного и дорогостоящего оборудования, однако они малоинформативны и обладают невысокой точностью.

Существует несколько неинвазивных аппаратных методов оценки состава тела. Методы визуализации, такие как компьютерная томография (Computed tomography, CT), широко используются в клинической практике. Жировая ткань и мышечная ткань могут быть отделены на срезах компьютерной томографии на основе их различного ослабления в единицах Хаунсфилда [16].

Как правило, компьютерная томография поперечного сечения тела на уровне третьего поясничного позвонка (L3) широко используется в качестве метода для определения массы скелетных мышц [17]. Однако CT-изображения поперечного сечения

на уровне L3 настроены на аппроксимацию массы мышц всего тела, а не на оценку региональной мускулатуры брюшной стенки и поясничной области. Кроме того, высокая стоимость этой процедуры томографического сканирования ограничивает доступность для рутинного мониторинга [18].

Анализ биоэлектрического импеданса (биоимпедансный анализ, BIA) является альтернативным методом, который может оценить состав тела. Этот метод может быстро определить жировую массу, тощую массу и общее количество воды в организме человека. Метод является косвенным, основанным на прогнозистических регрессионных уравнениях [19]. К тому же, единого стандарта для выбора регрессионных уравнений не существует, что приводит к появлению множества математических версий прогнозирования для оценки состава тела с помощью BIA. Кроме того, в математических алгоритмах необходимо дополнительно учитывать характеристики исследуемого, такие как возраст, этническая принадлежность и раса [20].

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (DXA) использует модель с тремя компонентами для оценки состава тела: минеральный состав костей, жировая масса и мышечная масса. DXA считается надежным стандартом для определения общей и региональной мышечной массы тела в клинических условиях [21, 22].

Некоторые методы исследования композиционного состава тела вряд ли применимы в гериатрической практике, например, подводное взвешивание.

Модели состава тела

Человеческое тело состоит более чем из тридцати измеримых компонентов. Прямое измерение компонентов организма *in vivo* в настоящее время невозможно, поэтому для этого были разработаны косвенные методы и модели [21]. Различные методы измерения состава тела, основаны на двухкомпонентных (2C), трехкомпонентных (3C), четырехкомпонентных (4C) или многокомпонентных моделях состава тела [11].

Измерение массы тела, индекса массы тела (ИМТ), окружности талии (ОТ), окружности бедер (ОБ), соотношение ОТ/ОБ можно условно считать однокомпонентной моделью (one-compartment, 1C).

Двухкомпонентная модель (two-compartment, 2C) — является простейшим подходом к определению состава тела. 2C делит массу тела на жировую массу (fat mass, FM) и безжировую массу (fat-free mass, FFM). Модель 2C основана на предположении, сделанном на основе кадаверного материала. Безводная FM — это химически экстрагируемый жир с предполагаемой плотностью $0,900 \text{ г/см}^3$, в то время как FFM, как предполагается в модели, имеет плотность $1,100 \text{ г/см}^3$ и содержание воды 73,7%. В 2C модели, сделано допущение о составе FFM: минеральные вещества в костях ($\approx 7\%$), внеклеточная вода ($\approx 29\%$), внутриклеточная вода ($\approx 44\%$) и висцеральный белок ($\approx 20\%$). Гидроденситометрия, плетизмография с вытеснением воздуха основаны на модели 2C.

Трёхкомпонентная модель (three-compartment, 3C). FFM дополнительно делится на тощую массу (lean tissue mass, LTM) и костную минеральную массу (bone mineral content, BMC). Кроме того, FFM

делится на воду (total body water, TBW) и оставшиеся твердые вещества — белки и минералы, сухая масса без жира (fat-free dry mass, FFDM). Таким образом, модель 3C контролирует межиндивидуальные различия в гидратации FFM. DXA — это метод, использующий модель 3C [11, 23].

Четырёхкомпонентная модель (four-compartment, 4C). Модель 4C получена путем деления массы тела на жир, минералы, TBW и остаточный белок. Поскольку модель 4C учитывает биологическую изменчивость как минерального состава костной ткани, так и TBW, теоретически она более достоверна, чем модель 3C. Для плотности белка и минералов приняты значения $1,34 \text{ г/см}^3$ и $3,075 \text{ г/см}^3$ соответственно. Однако модель 4C часто ограничена в применении ввиду большого времени исследования, высокой стоимости оборудования, необходимых для проведения множественных измерений, и используется главным образом для валидации других методов определения состава тела и для получения прогнозирующих уравнений.

Многокомпонентные модели. Атомарные модели строения тела требуют прямого анализа основных элементов организма. Нейтронно-активационный анализ может быть использован для измерения общего содержания элементов в организме (кальция, натрия, хлора, фосфора, азота, водорода, кислорода и углерода). Модель 6C делит организм на воду, азот, кальций, калий, натрий и хлор. Хотя многокомпонентные модели позволяют точно измерить состав тела, для проверки других методов их регулярное

использование ограничено отсутствием соответствующего оборудования, высокой стоимостью и воздействием радиации [11].

Характеристики, определяющие оптимальный выбор метода оценки состава тела, включают

точность, надежность, доступность, стоимость, простоту использования, возможную лучевую нагрузку на пациентов и безопасность пациентов [23]. Сравнение различных методов измерения состава тела представлено далее.

Антропометрия

Антропометрия (от греческого *anthropos* — человек и *metron* — мера) относится к систематическому сбору и сопоставлению измерений человеческих особенностей, включая измерение физических характеристик человеческого тела, в первую очередь массы тела, размера и формы. Антропометрия включает в себя простые, портативные, легко применимые, неинвазивные и недорогие методы оценки размеров и состава человеческого тела, отражающие состояние здоровья и питания [24].

Еще в 1995 году было опубликовано исследование Lean M. E. et al. «Waist circumference as a measure for indicating need for weight management». В исследуемую группу были включены 904 мужчины и 1014 женщин, в контрольную группу — 86 мужчин и 202 женщины. Авторы оценивали ИМТ, ОТ и ОБ, строили регрессионные модели для вычисления пороговых значений параметров, предсказывающих избыточную массу тела и ожирение. В результате исследования было установлено, что ОТ для мужчин ≥ 94 см и для женщин ≥ 80 см соответствовала избыточной массе тела. ОТ для мужчин ≥ 102 см и для женщин ≥ 88 см соответствовала ожирению [25]. По данным Bawadi H. et al. (2019), Britton K. A. (2013), антропометрические показатели могут применяться для прогнозирования риска развития неинфекционных заболеваний, таких как СД2, сердечно-сосудистые и онкологические заболевания [26, 27]. Кроме того, Bibiloni M. D.M. et al. (2019) полагают, что полезно оценивать взаимосвязь параметров состава тела с физическим состоянием и активным / неактивным образом жизни, а также снижением физических способностей и риском развития саркопении [28]. Tur J. A., Bibiloni M. D.M. (2019) считают, что антропометрические измерения необходимы для раннего выявления снижения физического состояния и соответствующих вмешательств, направленных на предотвращение физических нарушений и повышение качества жизни [29].

Целью работы Sun J. Y. et al. (2021) было изучение связи между ОТ и распространенностью артериальной гипертензии. В исследование было включено 27 894 участника. В результате, ОТ была положительно связана с артериальной гипертензией с отношением шансов 1,28 (ДИ 95%: 1,18–1,40) в молодой группе и 1,23 (ДИ 95%: 1,15–1,33) в старой группе. Выявлена более высокая распространенность артериальной гипертензии с увеличением ОТ. Таким образом, ОТ была выделена в качестве важного биомаркера для оценки риска артериальной гипертензии [30].

В проспективном когортном исследовании «Tehran lipid and glucose study», выполненном Seyedhoseinrou A. et al. (2023) в Иране, определяли пороговые значения ОТ, в зависимости от ИМТ, как предикторы сердечно-сосудистых заболеваний

и смертности от всех причин. 3344 мужчины и 4068 женщин наблюдались в течение 18 лет. Основываясь на ИМТ, участники были разделены на три группы в зависимости от ИМТ. В результате, пороговые значения ОТ в группах пациентов с ИМТ < 25 , 25–30 и > 30 кг/м² в отношении сердечно-сосудистых осложнений составили 82, 95 и 103 см у мужчин и 82, 89 и 100 см у женщин, а в отношении смертности от всех причин соответствующие значения составили 88, 95, и 103 см у мужчин и 83, 90 и 99 см у женщин. Авторы полагают, что вычисленные пороговые значения ОТ, зависящие от ИМТ, могут помочь лучше идентифицировать лиц с высоким риском развития сердечно-сосудистых заболеваний [31].

Несмотря на простоту антропометрических измерений, они могут привести к погрешностям в оценке состава тела [32]. По мнению Alberti K. G., Zimmet P. Z., ОТ представляет собой суррогатный параметр, не дающий информации о преобладании подкожного или висцерального компонентов жировой ткани. В связи с этим более предпочтительным представляется отношение ОТ/ОБ, характеризующее распределение подкожной клетчатки на уровне бедра и талии и тем самым определяющее выраженность висцерального депо. Согласно рекомендациям ВОЗ, приняты нормативные значения для отношения ОТ/ОБ, характеризующие нормальную массу тела ($< 0,9$ для мужчин и $< 0,85$ для женщин) [33].

Ludescher B. et al. (2009) сравнивали общее распределение жировой ткани в организме по данным МРТ с антропометрическими показателями. В исследование было включено 68 участников, 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. Антропометрические методы включали ИМТ, ОТ, толщину подкожно-жировых складок. Результаты исследования показали, что наблюдались значительные корреляции всех антропометрических методов с содержанием жировой ткани организма, измеренном с помощью МРТ. Однако лишь индекс ОТ/ОБ выявил значимые корреляции с висцеральным ожирением, но только у женщин [34]. Таким образом, исследование Ludescher B., et al. подтверждает малую точность антропометрии в диагностике висцерального ожирения. Кроме того, это исследование было проведено на малой выборке участников, средний возраст которых $42,3 \pm 15,4$ лет, и для гериатрических пациентов результаты этого исследования стоит интерпретировать с осторожностью.

Романцова Т. И. с соавт. (2012) обнаружили, что при исследовании влияния медикаментозного лечения ожирения на количество висцеральной жировой ткани, с помощью МРТ было диагностировано висцеральное ожирение у пациента с нормальной ОТ [35].

ИМТ является очень простым для измерения антропометрическим параметром, безопасен для пациента, не требует дорогостоящего оборудования и высокой квалификации специалистов. Однако ИМТ зависит не только от жировой, но и от костной и мышечной тканей. Висцеральное ожирение диагностировать только с помощью ИМТ невозможно [36]. Коков А. Н. с соавт. (2017) опубликовали исследование, посвященное эффективности использования антропометрических параметров в диагностике висцерального ожирения по сравнению с данными мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) брюшной полости, принятыми за эталон. В результате, ИМТ показал гораздо меньшую чувствительность по сравнению с МСКТ, и оказался информативен только у пациентов с ярко выраженным абдоминальным ожирением. Напротив, проведение МСКТ позволило выявить признаки висцерального ожирения даже на фоне нормального ИМТ [37].

Следует отметить, что, по мнению экспертов ESPEN и EASO, использование ИМТ считается приемлемым на этапе скрининга саркопенического ожирения, признавая при этом важные ограничения ИМТ в выявлении распределения жира и состава тела. На этапе скрининга также разрешается

использование ОТ в качестве доступного клинического инструмента, который следует широко использовать для выявления избытка абдоминального висцерального жира и связанного с ним кардиометаболического риска [6]. Одновременно эксперты подчеркивают, что на этапе инструментальной диагностики саркопенического ожирения антропометрия малочувствительна для определения состава тела. На антропометрические измерения для оценки массы скелетных мышц влияет избыток подкожного жира или накопление жидкости, что обычно наблюдается при ожирении. Поэтому эксперты ESPEN и EASO считают, что использование антропометрии для измерения мышечной массы не рекомендовано людям с ожирением (возможно только на этапе скрининга!), и должно ограничиваться измерением окружностью икр и только при отсутствии отека [6].

В целом, можно сделать вывод, что лишь при выраженном ожирении антропометрия даёт верный результат, однако очень важна ранняя диагностика только ещё начинающегося ожирения. Большой интерес вызывает внедрение относительно недорогих методов трехмерной оптической визуализации, которые можно использовать в исследовательских, клинических и даже домашних условиях.

Цифровая антропометрия (Digital anthropometry, DA)

В связи с развитием компьютерных технологий, математического моделирования, возможностью быстрой обработки большого массива данных, появляется новый метод оценки композиционного состава тела — цифровая антропометрия (Digital anthropometry, DA).

По данным Neynsfield S. B. et al. (2018), простые антропометрические инструменты, такие как гибкие измерительные ленты и штангенциркули, в настоящее время вытесняются быстро развивающимися цифровыми устройствами. С разработкой недорогих устройств для получения оптической 3D-визуализации измерение состава тела в клинических или даже домашних условиях может быть безопасным, практичным и относительно дешевым [38].

Трёхмерные сканеры (3D-сканеры) используются для создания высококачественного изображения всей поверхности человеческого тела с использованием неинвазивных оптических методов. Поскольку они используют видимый и инфракрасный свет, 3D-сканеры захватывают информацию только с поверхности тела. С технической точки зрения получение полезной информации при 3D-сканировании происходит в три этапа: сбор данных, обработка данных и анатомические измерения (интерпретация) [38].

В систематическом обзоре «Digital Anthropometry: A Systematic Review on Precision, Reliability and Accuracy of Most Popular Existing Technologies», опубликованном Mocini E. et al. (2023), было проведено изучение текущего состояния технологии DA, а также проверка надёжности и точности DA по данным 28 исследований. В результате, систематический обзор показал, что надёжность и точность DA были высокими в большинстве исследований, особенно при оценке пациентов с ожирением, хотя

они варьировались в зависимости от используемой технологии; была обнаружена хорошая корреляция между DA, обычной антропометрией, гидростатическим взвешиванием (HW), BIA, DXA, СТ. DA занимает меньше времени и является менее дорогостоящим методом и может использоваться в качестве инструмента скрининга перед более дорогими методами визуализации или в качестве альтернативы другим, менее доступным методам [39].

Представляет интерес использование автоматизированной визуальной антропометрии, которую можно проводить пациентам самостоятельно с помощью программного обеспечения смартфонов. Автоматизированная визуальная антропометрия, производимая с помощью мобильных приложений, доступна и экономически эффективна, а также позволяет оценивать клинически значимые антропометрические показатели без присутствия квалифицированного специалиста. Так, Graybeal A. J. et al. (2023), провели исследование, посвященное оценке точности и соответствия автоматизированной антропометрии на базе смартфона эталонным измерениям с помощью гибкой измерительной ленты. ОТ и ОБ, соотношение ОТ/ОБ и соотношение ОТ и роста были собраны у 115 участников (из них 69 женщин) с помощью измерительной ленты и двух приложений для смартфонов (MeThreeSixty®, myBVI®) на разных типах смартфонов. Авторами было показано, что все мобильные приложения для разных типов смартфонов дали надёжные оценки для каждого антропометрического параметра с коэффициентами внутриклассовой корреляции $\geq 0,93$ ($p < 0,001$) и среднеквадратичным коэффициентом вариации от 0,5 до 2,5%. Абсолютная погрешность для измерения ОТ и ОБ составила от 0,5 до 1,9 см. Оценки ОТ, ОБ и соотношения ОТ к росту,

полученные каждым мобильным приложением, продемонстрировали эквивалентность с эталонными измерениями гибкой лентой. Таким образом, результаты исследования Graybeal A. J. et al подтверждают возможность использование оценок ОТ и ОБ, полученных с помощью автоматизированных мобильных приложений [40].

По мнению Neynsfield S. B. et al., на основе 3D-сканирования могут быть разработаны новые показатели для прогнозирования различных заболеваний, связанных с изменением состава тела. Эта возможность 3D-оптики обусловлена огромным количеством измеряемых размеров поверхности тела, которые впервые позволяют выявить подробные фенотипы риска для здоровья, выходящие далеко за рамки используемой в настоящее время классификации «яблоко-груша» [38].

Подводное взвешивание (гидростатическое взвешивание, hydrostatic weighing, HW)

Гидростатическое взвешивание основано на двухкомпонентной модели. Это основополагающий метод определения состава тела, который на протяжении десятилетий считался «золотым стандартом» для оценки FM и FFM. HW основано на принципе Архимеда, который гласит, что когда тело погружено в воду, оно поддерживается противодействующей силой, равной весу вытесненной воды [41].

Метод измеряет количество воды, вытесненной телом, когда оно полностью погружено в воду, и в сочетании с измерениями остаточного объема легких может обеспечить точное измерение объема тела, исходя из которого, можно оценить композиционный состав. Человек с более высоким процентом FFM будет весить больше в воде, поскольку кости и мышцы плотнее воды, в то время как жир — легче. Большое количество FM делает тело легче в воде. Чтобы получить точную оценку, результат следует скорректировать с учетом количества воздуха, присутствующего в легких и желудочно-кишечном тракте на момент измерения. HW имеет средние погрешности в диапазоне от $-2,8\%$ до $+1,8\%$ в определении жировой массы

Однако Mocini E. et al. (2023) считают, что хотя в настоящее время DA могла бы быть полезна в клинической практике, но неоднородность доступных исследований (различные используемые устройства, технологии, обследуемая популяция и т.д.) требует осторожности при интерпретации полученных результатов. Кроме того, становится все более очевидной необходимость разработки интегрированных технологий для анализа состава тела в соответствии с многокомпонентными моделями [39].

В целом, цифровая антропометрия представляет собой новый перспективный метод измерения состава тела с помощью технологий цифровой визуализации. Необходимы дальнейшие исследования по точности и надежности его применения в гериатрической практике.

тела по сравнению с принятым за эталон методом 4C. Однако HW, несмотря на свою точность, имеет такие недостатки, как трудоемкость и причинение дискомфорта пациенту [11].

Holmes C. J., Racette S. B. (2021), подчеркивают, что важным компонентом, необходимым для правильной интерпретации результатов HW, является остаточный объем легких, который представляет собой количество воздуха, остающегося в легких после максимального выдоха (~1–2 л). Независимо от того, измеряют ли практикующие врачи остаточный объем легких или оценивают его с помощью различных прогнозных уравнений, это значение должно быть включено в расчеты состава тела при гидростатическом взвешивании, чтобы избежать значительного завышения процента жира. Поскольку HW требует от людей многократного погружения под воду после того, как они выйдут из легких как можно больше воздуха, многие находят это крайне неудобным [23].

В целом, метод гидростатического взвешивания можно считать неприменимым для пациентов пожилого и старческого возраста.

Воздушная плетизмография (Air displacement plethysmography, ADP)

Метод ADP, который в принципе аналогичен гидростатическому взвешиванию, измеряет плотность тела и, следовательно, общее содержание жировой и безжировой массы в организме. ADP основан на двухкомпонентной модели, и использует связь между давлением и объемом вытесненного телом человека воздуха, сидящего внутри герметичной камеры. Объем тела оценивается как объем воздуха в пустой камере за вычетом объема воздуха в камере

после того, как в нее сел человек, по изменению давления. Время измерения составляет около 5–8 минут. Было обнаружено, что точность BOD POD и гидростатического взвешивания практически одинакова при сравнении с эталонными методами, основанными на 4C модели. Однако коммерческий прибор для проведения воздушной плетизмографии «BOD POD» (COSMED, Италия), несмотря на простоту в использовании, является дорогостоящим [11].

Метод изотопного разбавления (Isotope dilution method)

Метод изотопного разбавления основан на принципе, при котором общее количество воды в организме

(total body water, TBW) — растворителя, может быть оценено, если известны концентрация и количество

индикатора (радиоактивного изотопа). При этом методе используется допущение, что TBW составляет 40–60% массы человеческого тела и в основном присутствует в FFM. В свою очередь, количество FFM могут быть получены из известного TBW. Обычно используемыми стабильными изотопами являются D_2O и ^{18}O . Образцы жидкости организма, будь то слюна, моча или кровь, отбираются сначала для определения естественных фоновых уровней перед введением дозы. Через 3–4 часа после введения индикатора,

биологическая жидкость берется повторно, для определения концентрации изотопа с помощью масс-спектрометрии, либо инфракрасной спектрофотометрии. Метод изотопного разбавления обеспечивает точность измерения TBW в пределах 1–2% по сравнению с эталонной четырёхкомпонентной моделью [11].

Несмотря на точность метода, высокая стоимость изотопов, и необходимость наличия специализированной лаборатории, необходимые для анализа результатов, ограничивают широкое применение.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (Dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)

DXA обычно используется в клинической практике для измерения минерального состава костной ткани, что позволяет диагностировать остеопороз. DXA является современным эталонным методом оценки состава тела, потому что обеспечивает точные оценки минерального состава костной ткани, жировой и тощей массы. Используется трехкомпонентная модель состава тела [21]. Это метод двумерной визуализации, в котором используются рентгеновские лучи с двумя разными энергиями. Затухание рентгеновского излучения зависит от толщины ткани и коэффициента затухания ткани, который зависит от энергии рентгеновского излучения [42].

Ослабление рентгеновских лучей с высокой и низкой энергиями фотонов поддается измерению и зависит от свойств подлежащей ткани. Различия в ослаблении рентгеновского излучения, проходящего через ткани, вызваны различиями в плотности и химическом составе жира, подкожной клетчатки и костей. Во время измерения с помощью DXA человек лежит на кушетке, и рентгеновский луч проходит в дорсально-вентральном направлении к детектору. DXA является более точным методом оценки общего содержания жира в организме, чем методы, основанные на плотности тела. По сравнению с эталонной 4C моделью, точность DXA составила 1–2% для жировой массы тела и 0,5–2% — для тощей массы [11]. Сканирование DXA занимает 6–13 минут, в зависимости от модели аппарата [43].

Tagliafico A. S. et al. (2019) рекомендуют использовать DXA для диагностики саркопении. Авторы считают необходимым включить количественную оценку мышечной массы в рутинные обследования различных категорий пациентов, так как с помощью рентгенологических методов (в том числе DXA) можно было бы выявить пациентов, подверженных риску заболеваний, связанных с саркопенией, и предложить профилактические мероприятия [44]. По мнению экспертов ESPEN и EASO, DXA может использоваться для клинической диагностики СО [6].

Поскольку DXA дает только двумерную проекцию, невозможно получить прямые объемные измерения, поэтому региональные оценки объема получаются косвенно с использованием анатомических моделей. Кроме того, физические свойства технологии не позволяют измерять эктопический жир в таких органах, как жировая клетчатка или скелетные мышцы. Тем не менее, благодаря своей способности оценивать регионарную жировую ткань и регионарную тощую массу, DXA широко используется для анализа состава тела [42].

DXA предполагает допущение, что количество жира в проекции костной ткани такое же, как и количество жира вне костной ткани, хотя на самом деле оно варьируется, и это является основным недостатком использования DXA для оценки распределения жировой ткани. Кроме того, алгоритм DXA предполагает постоянную гидратацию тощих мягких тканей, но гидратация варьируется в зависимости от возраста, пола и заболевания, и это может быть возможным ограничением [1]. Кроме того, ограничениями DXA являются лучевая нагрузка, поэтому необходимо обеспечить безопасность пациента с учетом частоты повторных измерений. Рекомендуется проводить не более двух DXA сканирований тела в год [21].

Marra M. et al. (2023) считают, что в будущем диагностические возможности метода DXA будут значительно улучшены. Перспективным представляется решение нескольких задач: 1) учет индивидуальных факторов, влияющие на точность метода, такие как форма и размер тела пациента; 2) новые алгоритмы анализа изображения, которые значительно снижают влияние артефактов движения пациента на DXA-сканирование; 3) стандартизированные и воспроизводимые процедуры позиционирования пациента и анализа изображений для точного измерения осевых, аппендикулярных и сегментарных областей; 4) изучение влияния распределения жировой ткани на точность DXA [21].

Компьютерная томография (Computed tomography, CT)

СТ дает трехмерное изображение с высоким разрешением всего тела или выбранных частей, вычисленное из большого количества рентгеновских проекций тела под разными углами. Различия в ослаблении рентгеновских лучей между тканями могут быть использованы для визуального разделения

этих тканей. СТ может точно определить жир в скелетной мышечной ткани и в печени. Будучи методом трехмерной визуализации, СТ может давать прямые объемные измерения органов и различных депо жировой ткани [42].

СТ рекомендуется консенсусом EWGSOP2 для диагностики саркопении в качестве метода «золотого стандарта». Эксперты подчеркивают важность СТ для определения состава тела и высокий потенциал этого метода в клинической практике [8]. По мнению экспертов ESPEN и EASO, СТ очень информативна для диагностики саркопенического ожирения. Предлагается поперечный СТ-срез на уровне третьего поясничного позвонка (L3). Масса мышц в этой области сильно коррелирует с мышечной массой всего тела. Однако эксперты считают, что использование компьютерной томографии специально для рутинной диагностики СО нецелесообразно из-за достаточно высокой стоимости и рентгеновского облучения. Таким образом, использование СТ в значительной степени ограничено. Если СТ используется для оценки других заболеваний (например, злокачественных новообразований), то может попутно оцениваться мышечная масса [6].

Индекс массы скелетных мышц при СТ определяется путем измерения общей площади скелетных мышц (см^2) на уровне L3 и деления на рост в квадрате (м^2) [45]. В систематическом обзоре и метаанализе 70 исследований из 15 стран, в которых для оценки саркопении использовалась компьютерная томография, в 62 публикациях использовался индекс массы скелетных мышц на уровне L3 для диагностики саркопении [46].

На практике часто анализ состава тела на основе СТ в большинстве случаев ограничивается двумерным анализом одного или ограниченного числа осевых срезов тела, что приводит к использованию измеренной области в качестве аппроксимации для всего организма. Есть две причины этого ограничения: во-первых, важно свести к минимуму сканируемую часть тела, чтобы уменьшить дозу ионизирующего излучения. Во-вторых, ручная сегментация различных отсеков на изображениях является очень трудоемкой задачей, которую можно сократить, ограничив анализ несколькими срезами, а не полным трехмерным объемом. Этот подход ограничивает точность, поскольку точное расположение срезов по отношению к внутренним органам не может быть определено априорно и, следовательно, будет варьироваться между сканированиями [42].

Первым шагом в СТ анализе состава тела является определение наиболее подходящего региона, затем производится сегментация. Сегментация выполняется либо вручную, либо с использованием автоматизированных методов. Для ручной сегментации обученные аналитики изображений или сертифицированные радиологи определяют интересующую область, затем выбирают срезы и различают каждый отдел тела (мышцы, висцеральный жир, подкожно-жировую клетчатку), используя анатомические знания и диапазоны единиц Хаунсфилда для конкретных тканей. Поскольку аналитики должны просматривать и сегментировать каждый выбранный срез, процесс ручного компьютерного анализа состава тела становится сложной задачей при большом наборе данных, поскольку требует времени и специальных знаний [45].

Новый метод компьютерно-томографического анализа состава тела использует автоматическую сегментацию с использованием нейронной сети, что обеспечивает более высокую скорость вычислений при анализе с большой точностью. Исследования показали, что анализ состава тела при компьютерной томографии занимает около 15 мин на сканирование для человека, по сравнению с менее 1 секунды на сканирование с использованием нейронных сетей [45].

Недавние достижения в области искусственного интеллекта и машинного обучения привели к высокой скорости и точности извлечения показателей состава тела из результатов компьютерной томографии. Elhakim T. et al. (2023) предлагают использовать трёхмерный автоматизированный анализ 3D-анализ СТ-изображения на основе технологии машинного обучения и искусственного интеллекта. Хотя большинство методик использует один аксиальный срез на уровне L3 позвонка, есть преимущества 3D-технологий. Анализ отдельных срезов является несовершенным показателем общего состава тела, а небольшие изменения в местоположении и угле наклона выбранного среза вносят значительную вариабельность в измерения. 3D-анализ дает более полную характеристику состава тела, поскольку предоставляет топографическую информацию о различных тканях и точно определяет индивидуальную изменчивость [45].

В одноцентровом перекрестном исследовании, выполненном Palmas F. et al. (2023), оценивали точность автоматического программного обеспечения и искусственного интеллекта для анализа СТ в диагностике ожирения, по сравнению с DXA, принятым за эталон. Всем пациентам (46 человек с ожирением и 24 — с нормальным ИМТ) была проведена оценка состава тела с помощью DXA и СТ на уровне L3. Томографические изображения были обработаны с использованием программного обеспечения FocusedON-V C. Были протестированы три различные модели. Модели 1 и 2 оценивали состав тела на основе площади срезов тканей (см^2). Модель 3, включала в качестве дополнительных переменных плотность по Хаунсфилду. В результате, между тремя моделями и DXA были получены значимые корреляции. Модель 3 показала самую сильную корреляцию с DXA ($r=0,926$; ДИ 95%: 0,835–0,968; $p<0,001$), а также наилучшее согласие, основанное на графиках Бланда-Альтмана [47].

Показатели состава тела могут быть автоматически извлечены из данных СТ брюшной полости с использованием подходов сегментации, основанных на машинном обучении. КТ-анализ состава тела по популяционной шкале может помочь установить Z-баллы с учетом возраста, пола и расы и эталонные кривые для каждого показателя. Показатели состава тела при компьютерной томографии, специфичные для конкретного пациента, могут быть скорректированы на основе эталонных кривых до включения в модели прогнозирования риска, чтобы помочь в улучшении процесса принятия клинических решений [45].

Магнитно-резонансная томография (Magnetic resonance imaging, MRI)

MRI использует различные магнитные свойства ядер определенных химических элементов (обычно водорода) в клетках для получения изображений мягких тканей [42]. С помощью так называемой «количественной визуализации жировой воды» можно получить точные измерения регионарных жировых депо, а также диффузной жировой инфильтрации в органах. Основой для количественной визуализации жировой воды является т.н. визуализация Диксона, где различные частоты магнитного резонанса протонов в жире и воде используются для разделения двух сигналов на изображение жира и изображение воды. Из-за ряда неопределимых факторов, MRI-изображение не калибруется в абсолютном масштабе и, следовательно, само по себе не является количественным. Но, используя различные методы постобработки, изображение может быть откалибровано для количественного измерения тканей [42].

В работе Fischer M. et al. (2023), была исследована эффективность использования нейронных сетей для извлечения и идентификации текстурных признаков из необработанных MRI-данных скелетных мышц. Эффективность была исследована в отношении

четырёх скелетных мышц с различной структурой волокон: малая ягодичная мышца, поясничная мышца, а также разгибатели и приводящие мышцы бедра. Авторы считают, что эта методика облегчает количественную оценку скелетно-мышечной ткани с помощью MRI [48].

В отличие от CT и DXA, MRI не использует ионизирующее излучение [42]. В целом, MRI предоставляют достоверную и углубленную информацию о составе тела, но эти методы визуализации требуют дорогостоящих аппаратов, сертифицированных, обученных технических специалистов для выполнения сканирования, программного обеспечения для анализа и специальных знаний для количественной оценки компонентов полученных изображений на уровне тканей и органов. Стоит отметить, что одним из недостатков MRI-сканирования является нежелание пациентов оставаться неподвижными в течение длительного периода времени в небольшом пространстве с потенциально громкими шумами, вызванными работающим оборудованием. Эти препятствия, создаваемые MRI, могут снизить комплаентность и вызвать у пациентов дискомфорт во время тестирования [23].

Биоимпедансный анализ (Bioimpedance Analysis, BIA)

BIA основан на двух- или трехкомпонентной модели состава тела. Биоэлектрический импеданс (биоимпеданс), определяется как сопротивление проводника потоку приложенного к нему переменного электрического тока, и зависит от состава ткани, а также от частоты подаваемого тока. Биоимпеданс — это сложный параметр, полученный из векторной зависимости между активным сопротивлением (R , Ω), которое возникает из внутриклеточных и внеклеточных жидкостей, и реактивным сопротивлением (X_c , Ω), которое связано с емкостью клеточных мембран [49].

Организм смоделирован в виде пяти цилиндрических отсеков (туловище и четыре конечности), жировая ткань считается изолятором. Электрический ток легко проходит через водные отсеки, потому что электролиты, содержащиеся в воде организма, проводят этот ток; жировая ткань оказывает сопротивление. Предполагается, что импеданс пропорционален высоте и обратно пропорционален площади поперечного сечения каждого отсека, а электрическим эквивалентом является резистор (внеклеточная вода) параллельно конденсатору и резистор последовательно (внутриклеточная вода) [42].

Обычные приборы BIA обеспечивают измерение FM и FFM только для всего тела, более совершенные — сегментарную оценку FM и FFM в каждой конечности и туловище в дополнение к измерениям всего тела, а некоторые приборы — оценку содержания минеральных веществ в костях в дополнение к FM и FFM [23].

Существует несколько типов устройств для BIA. Ранние системы использовали одночастотные (Single-Frequency BIA, SF-BIA) токовые

и прогностические уравнения, включающие сопротивление организма течению тока и другие переменные, такие как вес, рост и возраст. Обычно используется частота тока 50 кГц, между поверхностными электродами, расположенными на руке и ноге. В некоторых устройствах BIA используются другие способы размещения электродов (тетраполярный метод BIA) [50]. Следующий тип — многочастотные приборы для BIA (Multi-Frequency BIA, MF-BIA), что позволяет определять значительно больше параметров, в том числе биоимпедансный фазовый угол (PhA) [51]. BIA может быть выполнен с одновременным использованием электрического тока разной частоты. Применение более двух частот, варьирующихся от низких (1 кГц) до высоких (500 кГц) более информативно. На низких частотах (1–5 кГц) электрический ток не проникает через клеточную мембрану, и проходит через внеклеточную жидкость. На более высоких частотах (>50 кГц) ток проходит через клеточные мембраны и связан как с внутриклеточными, так и с внеклеточными жидкостными компонентами [21].

Биоимпедансная спектроскопия (BIS) использует более 2 частотных диапазонов. Например, прибор для BIA Seca mBCA 515 (seca, Гамбург, Германия) производит измерения на 20 частотах в диапазоне от 1 кГц до 1000 кГц [52]. BIS, в отличие от SF-BIA, не требует использования статистически выведенных уравнений прогнозирования для конкретной популяции, и является более точным методом для измерения объемов внутриклеточной и внеклеточной жидкости [53].

В клинической практике BIA позволяет контролировать жидкости организма (соотношение

внутриклеточных и внеклеточных компонентов) и, следовательно, состояние гидратации пациентов [21]. Большим преимуществом ВИА является малогабаритность прибора (некоторые легко переносятся вручную), быстрота измерения, отсутствие ионизирующего излучения. Для использования ВИА не требуется высокая квалификация медицинского работника [52].

PhA (арктангенс отношения активного сопротивления к реактивному) является информативным показателем, и может применяться как в спорте, так и в здравоохранении. Биоимпедансный фазовый угол — параметр оценки метаболизма, клеточных мембран, уровня здоровья в целом [23]. Barrera Ortega S. et al. (2023), показано, что фазовый угол является полезным показателем выживаемости и предиктором смертности в группе стационарных гериатрических пациентов с психиатрического профиля. Исследование выживаемости было проведено на 157 пациентах с деменцией и шизофренией. Регистрировались стадия функциональных нарушений, старческая астения, зависимость, недостаточное питание, сопутствующая патология, полипрагмазия, ИМТ и ОТ. Состав тела анализировали с использованием ВИА на частоте 50 кГц. Фазовый угол явился независимым показателем выживаемости у психогериатрических пациентов [54].

По мнению Merli P. et al. (2020), ВИА может использоваться в онкологии для диагностики лимфедемы — отека рук или ног, вызванному повреждением или удалением лимфатических узлов пациента, что приводит к закупорке лимфатической системы, препятствующей правильному оттоку лимфы. Из-за отеков, локализующихся в конечностях пациентов с лимфедемой, сегментарный ВИА может быть использован в качестве практического инструмента для мониторинга во время лечения [55].

Согласно консенсусу ESPEN and EASO, состав тела рекомендовано оценивать с помощью DEXA или ВИА, хотя оба метода имеют некоторые ограничения. Для DEXA это стоимость исследования, изменчивость

толщины ткани, гидратация мышечной ткани, отсутствие количественного определения скелетных мышц, включение немusшечного компонента, который может снизить точность. Ограничения ВИА также включают отсутствие прямого измерения состава тела. Масса скелетных мышц оценивается на основе популяционных уравнений, с пониженной точностью при наличии измененного баланса жидкости [6].

Потенциальными источниками ошибок метода ВИА являются изменения в длине конечностей (обычно оцениваемые по росту тела), недавняя физическая активность, состояние питания, температура тела и гидратация тканей, и размещение электродов. ВИА требуется для надежности метода, чтобы использовались различные параметры модели в зависимости от возраста, пола, уровня физической активности, количества жира в организме и этнической принадлежности. Абсолютное противопоказание для биоимпедансного исследования — имплантация пациенту кардиостимулятора [42]. Точность и надежность приборов ВИА сильно различаются между собой. Ряд исследований продемонстрировал эффективность как одночастотных, так и многочастотных устройств, сделав вывод, что ВИА может использоваться в качестве альтернативы DXA для оценки состава тела в целом и по сегментам. Однако одночастотные приборы демонстрируют наибольшие различия по сравнению с DXA, причем неточность возрастает в сочетании с более высокими уровнями ИМТ [23].

Для улучшения возможностей ВИА в будущем необходимо: 1) усовершенствование прогностических алгоритмов в зависимости от возраста, пола и этнической принадлежности; 2) разработка специальных уравнений для пациентов с недостаточной или избыточной гидратацией; 3) разработка прогностических показателей фазового угла для прогноза выживаемости при патологических состояниях; 4) точная валидация MF-ВИА, сегментарного ВИА и BIS в условиях аномалий гидратации организма (вследствие заболевания сердца, печени, почек и т.д.) [21].

Заключение

Наличие точной оценки состава тела позволит практикующим врачам отслеживать изменения в мышечной ткани во время диетического вмешательства и более эффективно назначать режим потребления белка и физическую активность для содействия оптимальному наращиванию мышечной массы. В случае саркопенического ожирения существуют одновременные цели по увеличению массы скелетных мышц при одновременном уменьшении массы жировой ткани [23]. Мониторинг состава тела важен для понимания влияния диеты, физической активности, болезней на метаболизм [56]. При выборе подходящего метода необходимо учитывать такие факторы, как осуществимость, стоимость, необходимые технические навыки персонала, уровень точности, наличие ионизирующего излучения, затраченное время, валидация в соответствующей популяции и доступность справочных данных [23].

Некоторые методы исследования композиционного состава тела вряд ли применимы в гериатрической

практике. Так, например, подводное взвешивание требует погружение человека в специальную емкость с водой, задержки дыхания на длительное время, специального оборудования и высокой квалификации персонала.

Точность оценки состава тела повышается, если человек следует определенным рекомендациям перед тестированием: 1) не принимать пищу в течение 8 часов; 2) не пить воду в течение 2 часов; 3) не заниматься физическими упражнениями в течение 24 часов; 4) не употреблять алкоголь в течение 48 часов; 5) опорожнить мочевой пузырь и кишечник в течение 30 минут перед тестированием. Рекомендуется проводить оценку состава тела утром после ночного голодания, что помогает убедиться в соблюдении этих условий. Хотя точность является наиболее важным фактором при выборе метода определения состава тела, важными соображениями являются доступность и стоимость [23].

Литература | References

1. Al-Sofiani M. E., Ganji S. S., Kalyani R. R. Body composition changes in diabetes and aging. *J Diabetes Complications*. 2019;33(6):451–459. doi:10.1016/j.jdiacomp.2019.03.007.
2. World Health Organization. Obesity and Overweight. Geneva: World Health Organization; 2020. Available at: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> Accessed: 2023 Aug 15.
3. Flatt J. P. Use and storage of carbohydrate and fat. *Am J Clin Nutr*. 1995;61(4 Suppl):952S-959S. doi:10.1093/ajcn/61.4.952S.
4. Jozsa L. G. Obesity in the paleolithic era. *Hormones (Athens)*. 2011;10(3):241–244. doi:10.14310/horm.2002.1315.
5. Williams R., Periasamy M. Genetic and Environmental Factors Contributing to Visceral Adiposity in Asian Populations. *Endocrinol Metab (Seoul)*. 2020;35(4):681–695. doi:10.3803/EnM.2020.772.
6. Donini L. M., Busetto L., Bischoff S. C. et al. Definition and Diagnostic Criteria for Sarcopenic Obesity: ESPEN and EASO Consensus Statement. *Obes Facts*. 2022;15(3):321–335. doi:10.1159/000521241.
7. Boccara E., Golan S., Beerli M. S. The association between regional adiposity, cognitive function, and dementia-related brain changes: a systematic review. *Front Med (Lausanne)*. 2023;10:1160426. doi:10.3389/fmed.2023.1160426.
8. Cruz-Jentoft A. J., Bahat G., Bauer J. et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019;48(4):601. doi:10.1093/ageing/afz046.
9. Jayasinghe S., Hills A. P. Sarcopenia, obesity, and diabetes — The metabolic conundrum trifecta. *Diabetes Metab Syndr*. 2022;16(11):102656. doi:10.1016/j.dsx.2022.102656.
10. Tutan D., Şen Uzeli Ü. A scientometric analysis of sarcopenic obesity: Future trends and new perspectives. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(26): e34244. doi:10.1097/MD.00000000000034244
11. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian J Med Res*. 2018 Nov;148(5):648–658. doi: 10.4103/ijmr.IJMR_1777_18.
12. Thibault R., Genton L., Pichard C. Body composition: why, when and for who?. *Clin Nutr*. 2012;31(4):435–447. doi:10.1016/j.clnu.2011.12.011
13. Andreoli A., Garaci F., Cafarelli F. P., Guglielmi G. Body composition in clinical practice. *Eur J Radiol*. 2016;85(8):1461–1468. doi:10.1016/j.ejrad.2016.02.005
14. Cui L. H., Shin M. H., Kweon S. S. et al. Sex-related differences in the association between waist circumference and bone mineral density in a Korean population. *BMC Musculoskelet Disord*. 2014;15:326. doi:10.1186/1471-2474-15-326.
15. Kawakami R., Murakami H., Sanada K. et al. Calf circumference as a surrogate marker of muscle mass for diagnosing sarcopenia in Japanese men and women. *Geriatr Gerontol Int*. 2015;15(8):969–976. doi:10.1111/ggi.12377.
16. Troschel A. S., Troschel F. M., Best T. D. et al. Computed Tomography-based Body Composition Analysis and Its Role in Lung Cancer Care. *J Thorac Imaging*. 2020;35(2):91–100. doi:10.1097/RTI.0000000000000428.
17. Dabiri S., Popuri K., Cespedes Feliciano E. M. et al. Muscle segmentation in axial computed tomography (CT) images at the lumbar (L3) and thoracic (T4) levels for body composition analysis. *Comput Med Imaging Graph*. 2019;75:47–55. doi:10.1016/j.compmedimag.2019.04.007.
18. Gomez-Perez S. L., Haus J. M., Sheehan P. et al. Measuring Abdominal Circumference and Skeletal Muscle From a Single Cross-Sectional Computed Tomography Image: A Step-by-Step Guide for Clinicians Using National Institutes of Health Image J. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2016;40(3):308–318. doi:10.1177/0148607115604149.
19. Aroom K. R., Harting M. T., Cox C. S. Jr. et al. Bioimpedance analysis: a guide to simple design and implementation. *J Surg Res*. 2009;153(1):23–30. doi:10.1016/j.jss.2008.04.019.
20. Sergi G., De Rui M., Stubbs B. et al. Measurement of lean body mass using bioelectrical impedance analysis: a consideration of the pros and cons. *Aging Clin Exp Res*. 2017;29(4):591–597. doi:10.1007/s40520-016-0622-6.
21. Marra M., Sammarco R., De Lorenzo A. et al. Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): A Critical Overview. *Contrast Media Mol Imaging*. 2019;2019:3548284. doi:10.1155/2019/3548284.
22. Guglielmi G., Ponti F., Agostini M. et al. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clin Exp Res*. 2016;28(6):1047–1060. doi:10.1007/s40520-016-0589-3.
23. Holmes C. J., Racette S. B. The Utility of Body Composition Assessment in Nutrition and Clinical Practice: An Overview of Current Methodology. *Nutrients*. 2021;13(8):2493. doi: 10.3390/nu13082493.
24. Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. World Health Organ Tech Rep Ser. 1995;854:1–452.
25. Lean M. E., Han T. S., Morrison C. E. Waist circumference as a measure for indicating need for weight management. *BMJ*. 1995;311(6998):158–161. doi:10.1136/bmj.311.6998.158.
26. Bawadi H., Abouwafra M., Alsaed S. et al. Body Shape Index is a Stronger Predictor of Diabetes. *Nutrients*. 2019;11:1018. doi: 10.3390/nu11051018.
27. Britton K. A., Massaro J. M., Murabito J. M. et al. Body fat distribution, incident cardiovascular disease, cancer, and all-cause mortality. *J Am Coll Cardiol*. 2013;62(10):921–925. doi:10.1016/j.jacc.2013.06.027.
28. Bibiloni M. D. M., Karam J., Bouzas C. et al. Association between Physical Condition and Body Composition, Nutrient Intake, Sociodemographic Characteristics, and Lifestyle Habits in Older Spanish Adults. *Nutrients*. 2018;10(11):1608. doi:10.3390/nu10111608.
29. Tur J. A., Bibiloni M. D. M. Anthropometry, Body Composition and Resting Energy Expenditure in Human. *Nutrients*. 2019;11(8):1891. doi:10.3390/nu11081891.
30. Sun J. Y., Hua Y., Zou H. Y. et al. Association Between Waist Circumference and the Prevalence of (Pre) Hypertension Among 27,894 US Adults. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:717257. doi:10.3389/fcvm.2021.717257.
31. Seyedhoseinpour A., Barzin M., Mahdavi M. et al. BMI category-specific waist circumference thresholds based on cardiovascular disease outcomes and all-cause mortality: Tehran lipid and glucose study (TLGS). *BMC Public Health*. 2023;23(1):1297. doi:10.1186/s12889-023-16190-w.
32. Wang J., Thornton J. C., Kolesnik S., Pierson R. N. Jr. Anthropometry in body composition. An overview. *Ann N Y Acad Sci*. 2000;904:317–326. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06474.x.
33. Alberti K. G., Zimmet P. Z. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: diagnosis and classification of diabetes mellitus provisional report of a WHO consultation. *Diabet Med*. 1998;15(7):539–553. doi: 10.1002/(SICI)1096-9136(199807)15:7<539::AID-DIA668>3.0.CO;2-S.

34. Ludescher B., Machann J., Eschweiler G. W. et al. Correlation of fat distribution in whole body MRI with generally used anthropometric data. *Invest Radiol.* 2009;44(11):712–719. doi:10.1097/RLI.0b013e3181afbb1e.
35. Romantsova T. I., Poluboyarinoва I. V., Roik O. V. Dynamics of adipose tissue changes measured by MRI in obese patients during Reduxin treatment. *Obesity and metabolism.* 2012;9(4):39–43. (In Russ.) doi:10.14341/2071-8713-5128.
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.
36. Brel N. K., Kokov A. N., Gruzdeva O. V. Advantages and disadvantages of different methods for diagnosis of visceral obesity. *Obesity and metabolism.* 2018;15(4):3–8. (In Russ.) doi:10.14341/omet9510.
Брель Н. К., Коков А. Н., Груздева О. В. Достоинства и ограничения различных методов диагностики висцерального ожирения. *Ожирение и метаболизм.* 2018;15(4):3–8. doi:10.14341/omet9510.
37. Kokov A. N., Brel N. K., Masenko V. L. 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):113–119. (In Russ.) doi:10.17802/2306-1278-2017-6-3-113-119.
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):113–119. doi:10.17802/2306-1278-2017-6-3-113-119.
38. Heymsfield S. B., Bourgeois B., Ng B. K. et al. Digital anthropometry: a critical review. *Eur J Clin Nutr.* 2018;72(5):680–687. doi:10.1038/s41430-018-0145-7.
39. Mocini E., Cammarota C., Frigerio F. et al. Digital Anthropometry: A Systematic Review on Precision, Reliability and Accuracy of Most Popular Existing Technologies. *Nutrients.* 2023;15(2):302. doi:10.3390/nu15020302.
40. Graybeal A. J., Brandner C. F., Tinsley G. M. Evaluation of automated anthropometrics produced by smartphone-based machine learning: a comparison with traditional anthropometric assessments. *Br J Nutr.* 2023;130(6):1077–1087. doi:10.1017/S0007114523000090.
41. Demura S., Sato S., Nakada M. et al. Comparison of estimation accuracy of body density between different hydrostatics weighing methods without head submersion. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2003;22(4):175–179. doi:10.2114/jpa.22.175.
42. Borga M., West J., Bell J. D. 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.
43. Smith-Ryan A. E., Mock M. G., Ryan E. D. et al. Validity and reliability of a 4-compartment body composition model using dual energy x-ray absorptiometry-derived body volume. *Clin Nutr.* 2017;36(3):825–830. doi:10.1016/j.clnu.2016.05.006.
44. Tagliafico A. S., Bignotti B., Torri L., Rossi F. Sarcopenia: how to measure, when and why. *Radiol Med.* 2022;127(3):228–237. doi:10.1007/s11547-022-01450-3.
45. Elhakim T., Trinh K., Mansur A. et al. Role of Machine Learning-Based CT Body Composition in Risk Prediction and Prognostication: Current State and Future Directions. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(5):968. doi:10.3390/diagnostics13050968.
46. Su H., Ruan J., Chen T. et al. CT-assessed sarcopenia is a predictive factor for both long-term and short-term outcomes in gastrointestinal oncology patients: a systematic review and meta-analysis. *Cancer Imaging.* 2019;19(1):82. doi:10.1186/s40644-019-0270-0.
47. Palmas F., Ciudin A., Guerra R. et al. Comparison of computed tomography and dual-energy X-ray absorptiometry in the evaluation of body composition in patients with obesity. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14:1161116. doi:10.3389/fendo.2023.1161116.
48. Fischer M., Küstner T., Pappa S. et al. Identification of radiomic biomarkers in a set of four skeletal muscle groups on Dixon MRI of the NAKO MR study. *BMC Med Imaging.* 2023;23(1):104. doi:10.1186/s12880-023-01056.
49. Foster K. R., Lukaski H. C. Whole-body impedance — what does it measure?. *Am J Clin Nutr.* 1996;64(3 Suppl):388S–396S. doi:10.1093/ajcn/64.3.388S.
50. Kyle U. G., Bosaeus I., De Lorenzo A. D. et al. Bioelectrical impedance analysis — part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2004;23(5):1226–1243. doi:10.1016/j.clnu.2004.06.004.
51. Gonzalez M. C., Barbosa-Silva T. G., Bielemann R. M. et al. Phase angle and its determinants in healthy subjects: influence of body composition. *Am J Clin Nutr.* 2016;103(3):712–716. doi:10.3945/ajcn.115.116772.
52. Day K., Kwok A., Evans A. et al. Comparison of a Bioelectrical Impedance Device against the Reference Method Dual Energy X-Ray Absorptiometry and Anthropometry for the Evaluation of Body Composition in Adults. *Nutrients.* 2018;10(10):1469. doi:10.3390/nu10101469.
53. Earthman C., Traughber D., Dobratz J., Howell W. Bioimpedance spectroscopy for clinical assessment of fluid distribution and body cell mass. *Nutr Clin Pract.* 2007;22(4):389–405. doi:10.1177/0115426507022004389.
54. Barrera Ortega S., Redondo Del Río P., Carreño Enciso L. et al. Phase Angle as a Prognostic Indicator of Survival in Institutionalized Psychogeriatric Patients. *Nutrients.* 2023;15(9):2139. doi:10.3390/nu15092139.
55. Merli P., Furnari R., Fadda M. et al. Role of Bioelectrical Impedance Analysis in the Evaluation of Patients with Upper Limb Lymphedema. *Lymphat Res Biol.* 2020;18(6):555–559. doi:10.1089/lrb.2019.0085.
56. Hernández-Ortega A., Osuna-Padilla I. A. Concordancia entre técnicas de composición corporal en niños y adolescentes: revisión narrativa de la literatura [Agreement between body composition techniques in children and adolescents: narrative review of the literature]. *Rev Mex Inst Seguro Soc.* 2020;58(2):181–196. doi:10.24875/RMIMSS.M20000016.