

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD641570>

EDN: VQQVDQ



Диагностическая и прогностическая значимость анализа композиционного состава тела с применением методов медицинской визуализации у женщин в постменопаузе: обзор

M.P. Aparisi Gómez^{1,2}, M.R. Petrera³, A. Santoro⁴, M.L. Petroni⁴, C. Gasperini⁵, C. Franceschi⁴, G. Marchesini⁴, G. Guglielmi^{6,7}, A. Bazzocchi⁵

¹ Te Toka Tumai Auckland (Auckland District Health Board), Окленд, Новая Зеландия;

² Waipara Taumata Rau — University of Auckland, Окленд, Новая Зеландия;

³ National Institute for Infectious Disease «Lazzaro Spallanzani», Рим, Италия;

⁴ University of Bologna, Sant'Orsola-Malpighi Hospital, Болонья, Италия;

⁵ IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Болонья, Италия;

⁶ University of Foggia, Фоджа, Италия;

⁷ «IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza» Hospital, Сан-Джованни-Ротондо, Италия

АННОТАЦИЯ

В статье представлена оценка маркёров композиционного состава тела у женщин в период постменопаузы и старения, полученных с помощью методов медицинской визуализации в условиях реальной клинической практики. С возрастом состав тела меняется, что особенно заметно в период менопаузы, когда в организме женщины происходят эндокринные изменения. В научной практике для оценки композиционного состава тела используют определённые визуализационные маркёры. В настоящем обзоре проанализированы связи различных визуализационных показателей с риском развития кардиометаболических нарушений и других заболеваний с учётом их влияния на частоту развития сопутствующих заболеваний и смертность, развитие функциональных нарушений и старческой астении. Особое внимание уделено визуализационным маркёрам, диагностическая эффективность которых подтверждена, что позволяет их использовать в условиях клинической практики. С этой целью проанализированы публикации, содержащие актуальные доказательные данные о надёжности исследуемых маркёров и их возможной связи с другими факторами. В обзоре рассмотрены возможности для улучшения тактики ведения женщин в постменопаузе, изучения их жизненных потребностей и профилактики или снижения степени выраженности неблагоприятного старения и частоты развития возрастных заболеваний посредством применения существующих методов медицинской визуализации (например, двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии, ультразвукового исследования, компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии) при целенаправленном исследовании композиционного состава тела и проведении исследований по другим клиническим показаниям с получением соответствующих данных.

Ключевые слова: постменопауза; саркопения; метаболические нарушения; старение; состав тела; двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия; диагностическая визуализация; обзор.

Как цитировать:

Aparisi Gómez M.P., Petrera M.R., Santoro A., Petroni M.L., Gasperini C., Franceschi C., Marchesini G., Guglielmi G., Bazzocchi A. Диагностическая и прогностическая значимость анализа композиционного состава тела с применением методов медицинской визуализации у женщин в постменопаузе: обзор // Digital Diagnostics. 2025. Т. 6, № 4. С. 583–602. DOI: 10.17816/DD641570 EDN: VQQVDQ

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD641570>

EDN: VQQVDQ

Diagnostic and Prognostic Relevance of Imaging-Based Body Composition Analysis in Postmenopausal Women: A Review

Maria P. Aparisi Gómez^{1,2}, Miriana R. Petrera³, Aurelia Santoro⁴, Maria L. Petroni⁴, Chiara Gasperini⁵, Claudio Franceschi⁴, Giulio Marchesini⁴, Giuseppe Guglielmi^{6,7}, Alberto Bazzocchi⁵

¹ Te Toka Tumai Auckland (Auckland District Health Board), Auckland, New Zealand;

² Waipapa Taumata Rau — University of Auckland, Auckland, New Zealand;

³ National Institute for Infectious Disease "Lazzaro Spallanzani", Rome, Italy;

⁴ University of Bologna, Sant'Orsola-Malpighi Hospital, Bologna, Italy;

⁵ IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italy;

⁶ University of Foggia, Foggia, Italy;

⁷ "IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza" Hospital, San Giovanni Rotondo, Italy

ABSTRACT

The article presents an assessment of body composition markers measured by imaging in clinical practice for postmenopausal and aging women. Body composition changes with aging and is specifically affected by endocrinological changes occurring with menopause. Several imaging markers have been proposed and used in the assessment of body composition status. The associations of different imaging markers with cardiometabolic risk and risks for other diseases, with impact on morbidity/mortality, functional impairment, and frailty, are discussed. The imaging markers confirmed by evidence and are applicable to clinical practice are highlighted. With this purpose, the current level of evidence in the literature on reliability and potential associations of each relevant marker was reviewed.

This review describes what can and should be done with available imaging tools (e.g., dual-energy x-ray absorptiometry, ultrasound, computed tomography, and magnetic resonance imaging) in dedicated and opportunistic settings (i.e., tests for assessing body composition vs those for other clinical reasons but wherein exploitation of imaging data is possible) to improve the management and understanding of lifestyle needs of postmenopausal women and thus to prevent or decrease unhealthy aging and rate of women with aging-related diseases.

Keywords: postmenopause; sarcopenia; metabolic disorders; aging; body composition; absorptiometry; diagnostic imaging; review.

To cite this article:

Aparisi Gómez MP, Petrera MR, Santoro A, Petroni ML, Gasperini C, Franceschi C, Marchesini G, Guglielmi G, Bazzocchi A. Diagnostic and Prognostic Relevance of Imaging-Based Body Composition Analysis in Postmenopausal Women: A Review. *Digital Diagnostics*. 2025;6(4):583–602. DOI: 10.17816/DD641570 EDN: VQQVDQ

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD641570>

EDN: VQQVDQ

采用医学影像学方法分析绝经后女性身体成分的诊断与预后意义：综述

Maria P. Aparisi Gómez^{1,2}, Miriana R. Petrera³, Aurelia Santoro⁴, Maria L. Petroni⁴, Chiara Gasperini⁵, Claudio Franceschi⁴, Giulio Marchesini⁴, Giuseppe Guglielmi^{6,7}, Alberto Bazzocchi⁵

¹ Te Toka Tumai Auckland (Auckland District Health Board), Auckland, New Zealand;

² Waipapa Taumata Rau — University of Auckland, Auckland, New Zealand;

³ National Institute for Infectious Disease "Lazzaro Spallanzani", Rome, Italy;

⁴ University of Bologna, Sant'Orsola-Malpighi Hospital, Bologna, Italy;

⁵ IRCCS Istituto Ortopedico Rizzoli, Bologna, Italy;

⁶ University of Foggia, Foggia, Italy;

⁷ "IRCCS Casa Sollievo della Sofferenza" Hospital, San Giovanni Rotondo, Italy

摘要

本文通过医学影像技术，在真实临床实践中对绝经后及衰老期女性身体成分标志物进行了评估。随着年龄增长，人体成分会发生变化，这种变化在更年期尤为明显，此时女性体内会发生内分泌变化。在科学实践中，采用特定的影像学标志物来评估人体成分构成。本综述分析了各种影像学指标与代谢紊乱及其他疾病风险之间的关联，同时考虑了这些指标对并发症发生率、死亡率、功能障碍及老年衰弱症的影响。特别关注了诊断有效性得到证实的影像学标志物，这些标志物可在临床实践中应用。为此，本综述分析了包含研究标志物可靠性及其与其他因素潜在关联的最新证据数据的文献。

本综述探讨了改善绝经后女性管理策略的可能性，研究其生活需求，并通过应用现有医学影像技术（例如双能X射线吸收测定法、超声检查、计算机断层扫描和磁共振成像）来预防或减轻不良衰老程度及年龄相关疾病的发生率。（例如双能X射线吸收测定法、超声检查、计算机断层扫描和磁共振成像），有针对性地研究身体成分构成，并针对其他临床指征开展研究以获取相关数据。

关键词：绝经后；肌少症；代谢紊乱；衰老；体成分；双能X线吸收测定法；诊断成像；综述。

引用本文：

Aparisi Gómez MP, Petrera MR, Santoro A, Petroni ML, Gasperini C, Franceschi C, Marchesini G, Guglielmi G, Bazzocchi A. 采用医学影像学方法分析绝经后女性身体成分的诊断与预后意义：综述. *Digital Diagnostics*. 2025;6(4):583–602. DOI: 10.17816/DD641570 EDN: VQQVDQ

收到: 05.11.2024

接受: 07.07.2025

发布日期: 16.12.2025

ВВЕДЕНИЕ

Исследование композиционного состава тела (КСТ) включает измерение и анализ распределения компонентов тела на разных уровнях организма. Впервые влияние распределения жировой ткани на частоту развития метаболических заболеваний обнаружено в конце 1940-х годов [1].

Среди различных типов жировой ткани наиболее выражена связь с развитием сердечно-сосудистых заболеваний и метаболического синдрома выявлена для висцеральной жировой ткани (ВЖТ), которая располагается в грудной клетке, брюшной полости и вокруг внутренних органов [2, 3]. Согласно результатам исследований, ВЖТ проявляет выраженную метаболическую активность, выделяя маркёры воспаления в кровотоке системы воротной вены и повышая сердечно-сосудистый риск [2].

Независимо от общего объёма жировой ткани в организме, присутствие липидных отложений, например в скелетных мышцах и печени, коррелирует с развитием инсулинорезистентности и формированием определённых фенотипов метаболического риска. При исследовании жировой ткани костного мозга выявлена обратная корреляция между её объёмом и количественными и качественными характеристиками костной ткани. Для сравнения: подкожная жировая ткань (ПЖТ) предположительно обладает более широким спектром активности, включая защитные механизмы и участие в развитии инсулинорезистентности, особенно при локализации в области брюшной полости [4].

В клинической практике принято использовать антропометрические данные, такие как окружность талии и бёдер, их соотношение, а также индекс массы тела (ИМТ). Несмотря на удобство и низкую стоимость этой методики, она характеризуется недостаточной точностью и воспроизводимостью результатов [5]. Для этих показателей отмечена низкая корреляция с объёмом ВЖТ и ПЖТ по данным компьютерной томографии (КТ), которая в настоящее время признана «золотым стандартом» исследования КСТ [6]. Таким образом, медицинская визуализация приобретает ключевое значение для точного измерения КСТ в клинических целях.

Анализ КСТ широко применяют в клинической практике для решения таких задач, как стратификация риска развития сердечно-сосудистых и метаболических заболеваний, оценка степени саркопении [7], остеопороза [8], кахексии у пациентов со злокачественными новообразованиями [9], мониторинг нутритивного статуса [10] и эффективности реабилитации, а также прогнозирование результатов хирургического вмешательства и развития старческой астении [11]. Данный вид исследования востребован в гериатрии, эндокринологии, онкологии и интенсивной терапии.

МЕХАНИЗМЫ СТАРЕНИЯ У ЖЕНЩИН

Согласно определению Всемирной организации здравоохранения, менопауза — постоянное прекращение менструаций вследствие утраты фолликулярной активности яичников, которое характеризуется снижением концентраций эстрогена и прогестерона и повышением содержания фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов. Менопаузу подтверждают при отсутствии менструаций в течение 12 мес. Снижение концентрации эстрадиола оказывает системное воздействие на организм женщины, повышая риск развития остеопороза и сердечно-сосудистых заболеваний и ухудшая психоэмоциональное состояние¹.

Старение у женщин сопровождается также уменьшением активности соматотропной оси, которая включает гормоны роста и инсулиноподобный фактор роста 1. Этот процесс, получивший название соматопауза, сопровождается множеством физиологических изменений, которые особенно заметны в головном мозге [12, 13]. Указанные возрастные изменения напоминают симптомы дефицита соматотропного гормона, однако имеют свои особенности, а именно:

- более высокие концентрации холестерина и триглицеридов;
- более высокий сердечно-сосудистый риск;
- уменьшение мышечной массы;
- снижение переносимости физической нагрузки;
- снижение мышечной силы.

В период старения часто наблюдают дефицит витамина D, который совместно с паратиреоидным гормоном регулирует абсорбцию кальция в организме посредством механизма отрицательной обратной связи. Низкая концентрация витамина D в сочетании со снижением потребления кальция и ухудшением функции почек может привести к развитию вторичного гиперпаратиреоза, который, в свою очередь, вызывает саркопению и мышечную слабость [14]. Кроме того, паратиреоидный гормон влияет на скелетные мышцы, что проявляется повышением содержания внутриклеточного кальция и снижением концентрации фосфата в плазме крови, сопровождаясь изменениями мышечной функции. Указанный механизм может обуславливать связь между высоким содержанием паратиреоидного гормона и повышенным риском падений и развития старческой астении [15, 16].

Риск развития сердечно-сосудистых заболеваний

Менопаузальный переход сопровождается повышением риска развития метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний, что связано со снижением концентрации циркулирующего эстрогена [17] и наличием хронического воспаления. У женщин в постменопаузе повыша-

¹ Менопауза. ВОЗ; [около 4 страниц]. В: Всемирная организация здравоохранения [интернет]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2024–2025. Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/menopause> Дата обращения: 14.12.2025.

ется содержание воспалительных маркеров, в частности С-реактивного белка (СРБ), интерлейкина-6 (ИЛ-6) и фактора некроза опухоли α (ФНО- α) [18].

С наступлением менопаузы наблюдают такие изменения КСТ, как увеличение жировой массы (ЖМ) и объёма ВЖТ, что активирует макрофаги, секретирующие провоспалительные цитокины, включая ФНО- α и ИЛ-6 [19], которые стимулируют синтез таких провоспалительных факторов, как СРБ и ферритин. Кроме того, отмечают снижение тощей массы (ТМ), исключая кости, что демонстрирует более выраженную прямую корреляцию с возрастными изменениями. До наступления менопаузы ВЖТ составляет 5–8% общей ЖМ. После менопаузы этот показатель возрастает до 15–20% [20], что приводит к увеличению выработки воспалительных маркеров и, как следствие, повышению сердечно-сосудистого риска [19] и наступлению смертельных исходов [21, 22].

В нескольких публикациях сообщают о повышенном риске развития абдоминального ожирения и метаболического синдрома у женщин в постменопаузе, однако только в некоторых из этих работ оценивали связь между временем с момента последней менструации, КСТ и факторами риска развития кардиометаболических нарушений у здоровых женщин с нормальной массой тела [23–26]. Q. Wang и соавт. [27] отмечали снижение ТМ в последующие годы после наступления менопаузы, тогда как ЖМ и распределение жира демонстрировали более выраженную корреляцию с возрастом, а не со временем с момента последней менструации.

Следует отметить, что у женщин наблюдают сложность с разграничением изменений, связанных с менопаузой, и последствий естественного процесса старения [28].

Несмотря на то что в исследованиях выполняли анализ корреляции между расходом энергии при физической активности и изменениями КСТ в постменопаузе, в большинстве из них не учитывали временной интервал, прошедший с момента наступления менопаузы. В когортных исследованиях отмечали возрастное снижение физической активности, однако при сохранении и увеличении активности изменения КСТ были менее выраженными [29, 30].

Саркопения

Согласно определению Европейской рабочей группы по изучению саркопении у людей пожилого возраста (European Working Group on Sarcopenia in Older People, EWGSOP), саркопения — это прогрессирующее снижение массы и функции скелетных мышц. Термин саркопеническое ожирение обозначает состояние, при котором одновременно снижается мышечная масса и увеличивается ЖМ, что приводит к сравнительно высокому соотношению ЖМ и ТМ. Таким образом, саркопения — одно из значимых проявлений старческой астении у людей пожилого возраста [31–34]. В свою очередь, снижение функции мышц является диагностическим критерием саркопении [35]. Она ассоциирована с высокой частотой развития

сопутствующих заболеваний, наступления смертельных исходов, госпитализаций и ограничения жизнедеятельности [32, 33]. Указанные изменения обусловлены миостеатозом — инфильтрацией жировой ткани в скелетные мышцы в результате дефицита эстрогенов [31].

Выделяют два основных механизма развития миостеатоза:

- накопление липидов внутри мышечных клеток;
- непропорциональная адипогенная дифференцировка мезенхимальных стволовых клеток, в результате чего жир откладывается между мышечными волокнами.

Жировая инфильтрация ухудшает состояние и функционирование мышечной ткани, что снижает чувствительность к инсулину [31].

Психозомоциональное состояние

Эстрадиол влияет на психозомоциональное состояние посредством воздействия на нейромедиаторные системы. Эстрогены проявляют нейропротективную активность при участии антиоксидантного механизма, поэтому снижение концентрации эстрогенов коррелирует с возникновением аффективных и когнитивных нарушений и повышает риск развития болезни Альцгеймера [36].

СВЯЗЬ МЕЖДУ СТАРЧЕСКОЙ АСТЕНИЕЙ И КОМПОЗИЦИОННЫМ СОСТАВОМ ТЕЛА

Для постановки диагноза старческой астении необходимо соблюдение трёх из перечисленных критериев:

- снижение мышечной силы;
- медлительность;
- утомляемость;
- низкая физическая активность;
- снижение массы тела [37].

Синдром физической старческой астении — это гериатрический синдром, который создаёт возрастающую нагрузку на системы общественного здравоохранения по всему миру. Он проявляется в снижении устойчивости к стрессу и ухудшении различных физиологических функций, что приводит к ограничению жизнедеятельности и повышает уязвимость людей пожилого возраста, в результате чего увеличивается риск падений, госпитализаций и таких неблагоприятных исходов, как инвалидизация и смерть [37].

У женщин старческая астения развивается чаще, чем у мужчин, что проявляется уже на самых ранних стадиях в виде снижения мышечной и безжировой массы (БЖМ), увеличения общей ЖМ и развития мышечной слабости [37].

Жировая ткань выполняет метаболические функции, в частности секретирует ИЛ-6 и ФНО, которые способствуют развитию воспалительного процесса и инсулинорезистентности, что, в свою очередь, ускоряет снижение мышечной массы и силы. Снижение мышечной массы негативно влияет на многие функции организма, ухудшая питание тканей, ограничивая жизнедеятельность пациента пожилого возраста, нарушая функционирование

эндокринной системы, вызывая когнитивные нарушения и увеличивая риск развития различных сопутствующих заболеваний [38].

Тем не менее весь комплекс взаимосвязей между КСТ и синдромом старческой астении всё ещё недостаточно изучен.

АКТУАЛЬНАЯ СИТУАЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ТЕЛА У ЖЕНЩИН В ПЕРИОД СТАРЕНИЯ

С возрастом у женщин происходят изменения КСТ, которые включают уменьшение роста, снижение минеральной плотности костной ткани, что может привести к остеопении и остеопорозу, увеличение ЖМ и снижение ТМ (саркопении и саркопеническое ожирение). Перераспределение ЖМ заключается преимущественно в увеличении объёма центральной жировой ткани и ВЖТ [39].

В настоящем обзоре рассмотрены возможности применения различных методов визуализации для оценки КСТ, в частности измерения ЖМ и ТМ. Их также можно использовать для оценки содержания жира внутри клеток (например, в печени и скелетных мышцах) с установлением связи между различными визуализационными показателями и риском развития метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний. Более глубокое изучение этой темы не предусмотрено в настоящем обзоре.

Z.M. Wang и соавт. [40] представили модель оценки КСТ по уровням структурной организации: атомный, молекулярный, клеточный, органно-тканевый и организменный, при этом в каждом случае авторы применяют специфические методы прямого измерения, например радиоизотопные, биохимические и антропометрические.

Оценить состав компонентов тела на разных уровнях можно с помощью таких методов визуализации, как двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА), ультразвуковое исследование (УЗИ), КТ и магнитно-резонансная томография (МРТ). ДРА позволяет дифференцировать жировую ткань, воду, белки и минеральные

Таблица 1. Уровни анализа композиционного состава тела с применением различных методов медицинской визуализации

Уровни				
Атомный	Молекулярный	Клеточный	Органно-тканевый	Весь организм
O	Минеральные вещества	Внеклеточное пространство	Скелет	—
	Гликоген Белок		Внутренние органы и остаточная масса	
C	Вода	Внеклеточная жидкость	Скелетные мышца	—
H				
N, Ca, P, R, Na, Cl	Липиды	Клетки адиipoциты	Жировая ткань	—

Методы медицинской визуализации

Методы медицинской визуализации	Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия:	Ультразвуковое исследование:	Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия:	Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия:
—	<ul style="list-style-type: none"> жир + вода + белки + гликоген + минеральные вещества: мягкие ткани; вода + белки + гликоген + минеральные вещества: тощая масса мягких тканей; жировая ткань; минеральные вещества в костной ткани 	<ul style="list-style-type: none"> внутриклеточный жир (эхогенность мышц). <p>Компьютерная томография:</p> <ul style="list-style-type: none"> внутриклеточный жир (плотность мышечной ткани). <p>Магнитно-резонансная томография:</p> <ul style="list-style-type: none"> внутриклеточный жир (внутримышечная жировая ткань) 	<ul style="list-style-type: none"> висцеральная жировая ткань; подкожная жировая ткань. <p>Ультразвуковое исследование:</p> <ul style="list-style-type: none"> толщина мышц; площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; угол пennaции; длина мышечного пучка. <p>Компьютерная томография:</p> <ul style="list-style-type: none"> площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; объём висцеральной и подкожной жировой ткани; индекс массы скелетных мышц. <p>Магнитно-резонансная томография:</p> <ul style="list-style-type: none"> площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; объём висцеральной и подкожной жировой ткани 	<ul style="list-style-type: none"> общая тощая масса; жировая масса/тощая масса; индекс аппендикулярной тощей массы; индекс тощей массы; индекс массы скелетных мышц

вещества на молекулярном уровне, а МРТ — определить внутриклеточные компоненты. Тем не менее с помощью методов прижизненной визуализации оценивают в основном тканевый уровень КСТ (табл. 1) [12].

ДРА считают эталонным методом анализа КСТ, преимуществами которого заключаются в точности и воспроизводимости результатов, низкой стоимости, широкой доступности и минимальной лучевой нагрузке. ДРА является «золотым стандартом» измерения минеральной плотности костной ткани, и её широко применяют для оценки ЖМ и ТМ в отдельных анатомических областях и в организме в целом [35].

В основе данного метода лежит трёхкомпонентная модель при которой выделяют ЖМ и БЖМ, при этом БЖМ подразделяют на ТМ и костное минеральное содержание (рис. 1) [41].

Плотность разных тканей определяют по степени затухания двух пучков рентгеновского излучения (низкоэнергетического и высокоэнергетического) при прохождении через тело человека. Таким образом, отношение ослабления высоко- и низкоэнергетического излучения, которое обозначают термином R-показатель является тканеспецифичным [41].

Значения R-показателя для массы костной ткани и ЖМ считают постоянными, тогда как у мягких тканей R-показатель может различаться в зависимости от уровня гидратации и степени жировой инфильтрации. Его оценивают в анатомических областях, которые содержат мягкие

ткани и кости. Для измерения ЖМ и объёма мягких тканей без учёта жира анализируют только те ткани, что окружают кости. Полученные значения R-показателя в этих областях позволяют дифференцировать ЖМ, ТМ и минеральную плотность костной ткани в процессе реконструкции. Например, исходя из заданного значения R-показателя, пиксели, в которых он ниже пороговой величины, классифицируют как мягкие ткани, при этом R-показатель линейно зависит от содержания жировой ткани (чем выше её процент, тем ниже соотношение) [41].

При анализе пикселей с R-показателем выше порогового значения в областях, которые включают кости и мягкие ткани, необходимо выполнить интерполяцию характеристик мягких тканей на прилегающие мягкотканые пиксели [42–44].

Применение метода ДРА для анализа КСТ, особенно ТМ, ограничено в связи с влиянием гидратационного статуса пациента. При измерении БЖМ исходят из предположения, что уровень гидратации является постоянным и составляет около 73%, однако он может варьировать от 67 до 85%, поэтому изменения этого показателя после приёма пищи или физической активности могут повлиять на точность результатов ДРА [45].

С возрастом ЖМ увеличивается, а ТМ уменьшается (саркопения и саркопеническое ожирение), жировая ткань перераспределяется, в основном в область живота и вокруг внутренних органов, что повышает риск развития метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний [41].

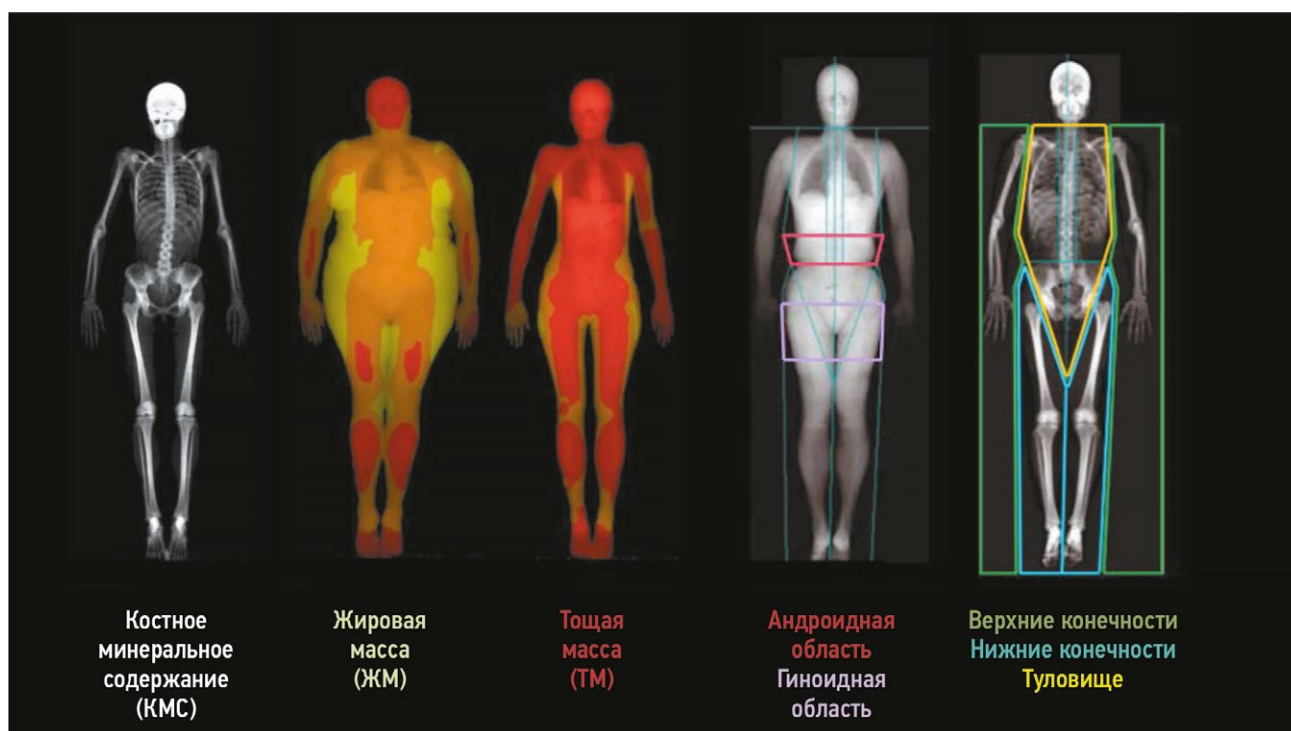


Рис. 1. Анализ композиционного состава тела с применением двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Измерения основаны на трёхкомпонентной модели, которую в целях упрощения можно представить в виде жировой массы (ЖМ — жёлтый цвет), тощей массы, исключая кости (ТМ — красный цвет), и костного минерального содержания (КМС — белый цвет). При исследовании всего тела и отдельных областей можно оценить массу тела и минеральную плотность костной ткани.

Таблица 2. Краткий обзор визуализационных маркеров и основные области их применения

Параметры	Преимущества	Недостатки	Применение
<i>Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия</i>			
<ul style="list-style-type: none"> общая тощая масса; жировая масса/тощая масса; индекс аппендикулярной тощей массы; индекс тощей массы; индекс массы скелетных мышц; индекс массы аппендикулярных скелетных мышц; висцеральная жировая ткань; подкожная жировая ткань 	<ul style="list-style-type: none"> низкая стоимость; низкая лучевая нагрузка; малое время сканирования; широкая доступность 	<ul style="list-style-type: none"> низкая точность измерения тощей массы, обусловленная предположением о постоянном состоянии гидратации 	<p>Клинические условия для эпидемиологического надзора и скрининга:</p> <ul style="list-style-type: none"> оценка жировой массы у ВИЧ-позитивных пациентов, которые получают антиретровирусную терапию и имеют повышенный риск развития жировой дистрофии; оценка жировой и тощей массы у пациентов после бариатрической операции; оценка жировой и тощей массы у пациентов с мышечной слабостью и снижением физического функционирования
<i>Ультразвуковое исследование</i>			
<ul style="list-style-type: none"> толщина мышц; площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; угол пеннации; длина мышечного пучка; внутриклеточный жир (эхогенность мышц) 	<ul style="list-style-type: none"> низкая стоимость; неионизирующее излучение; портативность; малое время сканирования; визуализация в реальном времени 	<ul style="list-style-type: none"> зависимость от квалификации оператора; отсутствие стандартизированного протокола; низкая воспроизводимость результатов 	<p>В условиях клинической практики:</p> <ul style="list-style-type: none"> оценка жировой массы у пациентов после бариатрической операции; оценка жировой массы у беременных; оценка жировой и тощей массы у пациентов со спинномозговыми травмами
<i>Компьютерная томография</i>			
<ul style="list-style-type: none"> площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; объем висцеральной и подкожной жировой ткани; индекс массы скелетных мышц; внутриклеточный жир (плотность мышечной ткани) 	<ul style="list-style-type: none"> высокое пространственное разрешение; высокая точность результатов 	<ul style="list-style-type: none"> ионизирующее излучение; высокая стоимость; отсутствие стандартизированного протокола 	<p>В условиях научных исследований и клинической практики:</p> <ul style="list-style-type: none"> данные исследований, проведённых по другим клиническим и терапевтическим показаниям
<i>Магнитно-резонансная томография</i>			
<ul style="list-style-type: none"> объём мышц/площадь поперечного сечения; площадь поперечного сечения висцеральной и подкожной жировой ткани; объём висцеральной и подкожной жировой ткани; внутриклеточный жир (внутримышечная жировая ткань) 	<ul style="list-style-type: none"> высокое пространственное и контрастное разрешение; неионизирующее излучение 	<ul style="list-style-type: none"> высокая стоимость; длительное время сканирования; пациенты с медицинскими изделиями, присутствие которых является противопоказанием для проведения исследования (кардиостимулятор и металлические инородные тела); отсутствие стандартизированного 	<p>В условиях научных исследований и клинической практики:</p> <ul style="list-style-type: none"> данные исследований, проведённых по другим клиническим и терапевтическим показаниям

С помощью ДРА можно измерить ЖМ и ТМ во всём организме и его отдельных областях, включая туловище, верхние и нижние конечности, андрондую и гиноидную зоны. Установлено, что в отличие от антропометрических замеров окружности талии и бёдер ДРА позволяет более точно спрогнозировать риск развития метаболических заболеваний [46, 47] (табл. 2).

Измерения в андрондной зоне при выполнении ДРА позволяют оценить объём ВЖТ и спрогнозировать риск развития метаболических заболеваний. С использованием ROC-кривых доказана высокая точность измерения ВЖТ для выявления как минимум одного лабораторного фактора риска, ассоциированного с метаболическим синдромом, в числе которых глюкоза крови натощак, общий холестерин и холестерин липопротеинов высокой плотности, триглицериды, аспаратаминотрансфераза и аланинаминотрансфераза, как у мужчин [Area Under the Curve, AUC 0,82 (доверительный интервал, ДИ 0,748–0,884)], так и у женщин [AUC 0,811 (ДИ 0,746–0,865)] [48].

Кроме того, в популяции представителей европеоидной расы пороговые значения массы и объёма ВЖТ для выявления как минимум одного лабораторного фактора риска, ассоциированного с метаболическим синдромом, составили у мужчин и женщин более 1395 г и 1479 см³ и 1281 г и 1357 см³ соответственно. Ключевым компонентом, определяющим уровень этого риска, является ВЖТ, тогда как ПЖТ оказывает противоположное воздействие. Указанные два компартмента выполняют разные эндокринные функции и, соответственно, по-разному влияют на метаболизм глюкозы [48].

Ввиду технических ограничений, обусловленных проведением измерений в двумерной плоскости, ДРА не позволяет напрямую измерить объём компартментов ВЖТ и ПЖТ. Тем не менее их объём можно вычислить на основе косвенных данных с применением анатомических моделей [42]. ДРА не подходит для обнаружения и измерения эктопических жировых отложений.

Недавно представлена техника ДРА, предназначенная для раздельного измерения ВЖТ и ПЖТ в андрондной зоне (в сегменте брюшной полости, ограниченном верхней линией, проходящей на уровне 20% расстояния между гребнями подвздошных костей и подбородком, и нижней линией, соединяющей верхние границы гребней подвздошных костей). Массу и объём ВЖТ определяют путём вычитания расчётных значений массы и объёма ПЖТ из общего объёма ЖМ в андрондной области. Результаты измерения ВЖТ с помощью ДРА валидированы данными КТ при широком диапазоне значений ИМТ (18–40 кг/м²) и возраста (18–90 лет) как у мужчин, так и у женщин [49].

Международное общество клинической денситометрии (The International Society for Clinical Densitometry, ISCD) рекомендовало рассчитывать Z-критерии КСТ на основе репрезентативных для США данных ДРА за 2009 год, полученных при выполнении Национального обзорного исследования по здоровью и питанию (The National Health

and Nutrition Examination Survey, NHANES) [50, 51]. Указанные данные интегрированы в программное обеспечение компаний Hologic и General Electric с целью вычисления Z-критериев для оценки содержания различных типов жировой ткани и измерения ТМ [52, 53].

В 2020 году А. Ofenhemier и соавт. [46] представили референсные значения показателей КСТ, стратифицированные по возрасту и полу для взрослого населения Европы (18–81 год), включая такие показатели, как объём ВЖТ, индекс ЖМ (иЖМ), отношение ЖМ в андрондной/гиноидной зонах и в туловище/конечностях, индекс ТМ (иТМ), а также индекс аппендикулярной ТМ (иАТМ).

Кроме того, существуют публикации, посвящённые сравнительному анализу ДРА и МРТ, которая также признана «золотым стандартом» исследования КСТ. Перед сравнением результатов, полученных с помощью ДРА и МРТ, следует выполнить линейное преобразование, поскольку эти исследования оценивают разные показатели (оценка ЖМ и ТМ и измерение площади и объёма соответственно) и охватывают разные анатомические области [42, 54].

В публикациях отмечена высокая согласованность результатов этих двух исследований, их точность и удовлетворительная воспроизводимость данных. Например, М. Varga и соавт. [42] сообщают о высокой согласованности результатов измерения общей ЖМ и ТМ с применением ДРА и МРТ (коэффициент корреляции $r=0,99$ для МЖ и $r=0,97$ для ТМ), однако согласованность результатов измерения ВЖТ была ниже, особенно у пациентов с ожирением. Наиболее низкий коэффициент корреляции был получен при оценке ЖМ в верхних конечностях, что обусловлено потерей сигнала при проведении МРТ.

В свою очередь, высокая согласованность результатов отмечена при выполнении ДРА и КТ всего тела для измерения общей ЖМ ($r=0,99$) [54].

С возрастом ТМ, значимый показатель метаболического риска, снижается и является ключевым диагностическим критерием саркопении. Для оценки массы скелетных мышц (МСМ) принято использовать аппендикулярную ТМ (АТМ), которую рассчитывают как сумму ТМ в верхних и нижних конечностях по данным ДРА. Этот показатель считают достоверным индикатором МСМ, поскольку он демонстрирует выраженную корреляцию с результатами визуализации всего тела как в одномоментных, так и в когортных исследованиях [55]. Коэффициент корреляции для АТМ по данным ДРА и объёма мышц по данным КТ и МРТ при выполнении исследования всего тела и отдельных областей составил 0,77–0,97 [56–63].

ДРА часто применяют для оценки МСМ благодаря высокой точности результатов, широкой доступности и низкой лучевой нагрузке (0,001 мЗв), однако следует учитывать постоянную гидратацию ТМ, что может снижать точность измерений, особенно у пациентов с отёками [64].

За последние годы разными экспертными группами предложено несколько индексов для оценки ТМ,

прежде всего с целью диагностики саркопении, что привело к существенной неоднородности имеющихся данных [35, 65, 66].

Для большей сопоставимости индексы, полученные на основании данных ДРА, можно разделить по параметру-источнику: МСМ или ТМ и параметры, скорректированные по росту и массе тела [65, 66].

В 1998 году R.N. Baumgartner и соавт. [66] предложили рабочее определение саркопении, согласно которому отношение массы аппендикулярных скелетных мышц (МАСМ, кг) к квадрату роста (m^2) находится на два стандартных отклонения ниже среднего значения в контрольной группе молодого возраста [65].

В 2010 году EWGSOP рекомендовала использовать МАСМ и, в частности индекс МАСМ (иМАСМ), в качестве диагностического параметра для выявления саркопении [35]:

$$uMАСМ = \frac{MАСМ}{P^2}, \quad (1)$$

где $MАСМ$ — масса аппендикулярных скелетных мышц, кг; P — рост, m^2 .

В контексте старения предложено новое определение этого патологического состояния, включающее критерий низкой мышечной функции (слабости или низкой работоспособности) в дополнение к критерию низкой мышечной массы [35].

Фонд проекта по изучению саркопении Национальных институтов здравоохранения США предлагает выявлять низкую мышечную массу с помощью следующих показателей [67]:

$$ATM = TM_{нк} + TM_{вк}, \quad (2)$$

где ATM — аппендикулярная тощая масса, кг; $TM_{нк}$ — тощая масса нижних конечностей, кг; $TM_{вк}$ — тощая масса верхних конечностей, кг;

$$uTM = \frac{общая TM}{P^2}, \quad (3)$$

где uTM — индекс тощей массы; $общая TM$ — общая тощая масса, кг; P — рост, m^2 ;

$$uATM = \frac{ATM}{P^2}, \quad (4)$$

где $uATM$ — индекс аппендикулярной тощей массы; ATM — аппендикулярная тощая масса, кг; P — рост, m^2 [68].

Очевидно, что иАТМ является клинически значимым показателем, поскольку поддержание МАСМ важно для сохранения мобильности и функциональной независимости пациентов в пожилом возрасте, а также снижения риска последующего развития сопутствующих заболеваний [69].

Согласно рекомендациям ISCD [51], статус ТМ можно определить с помощью иАТМ и Z-критериев на основе данных популяции, подобранной по возрасту, этнической и половой принадлежности. За последние десять лет в разных странах предложено множество скорректированных по полу и возрасту пороговых значений

иАТМ для выявления пациентов с саркопенией в общей популяции. В соответствующих консенсусных документах [55, 70–73] отмечают необходимость определения отдельных параметров для разных этнических групп, однако единое валидированное пороговое значение для определения низкой ТМ всё ещё отсутствует [51]. Тем не менее указанные данные можно использовать в качестве ориентира для мониторинга снижения мышечной массы [74], поскольку индексы ТМ, измеренные с применением ДРА, используют в качестве косвенных показателей МСМ.

Появление концепции саркопенического ожирения усложнило задачу определения нормальной МСМ, поскольку наличие жировой инфильтрации влияет на качество и функцию мышечной ткани [75].

У пациентов с низкой ТМ и высокой ЖМ риск развития сопутствующих заболеваний и смертность выше, чем у пациентов только с высокой ЖМ [75]. Кроме того, для поддержания работы мышц пациентам с ожирением необходимо больше энергии и мышечной силы, поскольку сила скелетных мышц под влиянием ЖМ уменьшается.

С учётом вышесказанного предложены другие комбинированные параметры, которые объединяют показатели мышечной и жировой массы и учитывают наличие ожирения. Их цель — упростить оценку влияния ЖМ и ТМ на состояние пациента. Примером такого параметра является АТМ, скорректированная по ИМТ и проценту от общей массы тела [76, 77].

В ранее упомянутом исследовании отмечено, что у здоровых женщин ТМ оставалась стабильной в возрасте от 20 до 80 лет [39], однако U.G. Kyle и соавт. [78] сообщали о постепенном снижении ТМ у женщин старше 34 лет. Q. Wang и соавт. [27] продемонстрировали, что с течением времени БЖМ у женщин в постменопаузе уменьшается, а количество и распределение жировой ткани зависят от возраста, а не от времени с момента наступления менопаузы.

Согласно последним рекомендациями ISCD [51], ДРА с анализом отдельных областей тела применяют только у пациентов с мышечной слабостью и ограничением физического функционирования для оценки ЖМ и ТМ, у пациентов после бариатрической операции для оценки изменений ЖМ и ТМ, а также у ВИЧ-положительных пациентов для оценки распределения жировой ткани.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

УЗИ — низкочастотная портативная методика исследования без использования ионизирующего излучения. Толщину жировой ткани оценивают с помощью параметров и индексов, которые можно измерить при стандартном УЗИ, а их значения коррелируют с клиническими и лабораторными данными (рис. 2). Тем не менее необходима стандартизация этих параметров. Высокую точность и надёжность демонстрируют измерения внутрибрюшного, эпикардального, пери- и параренального

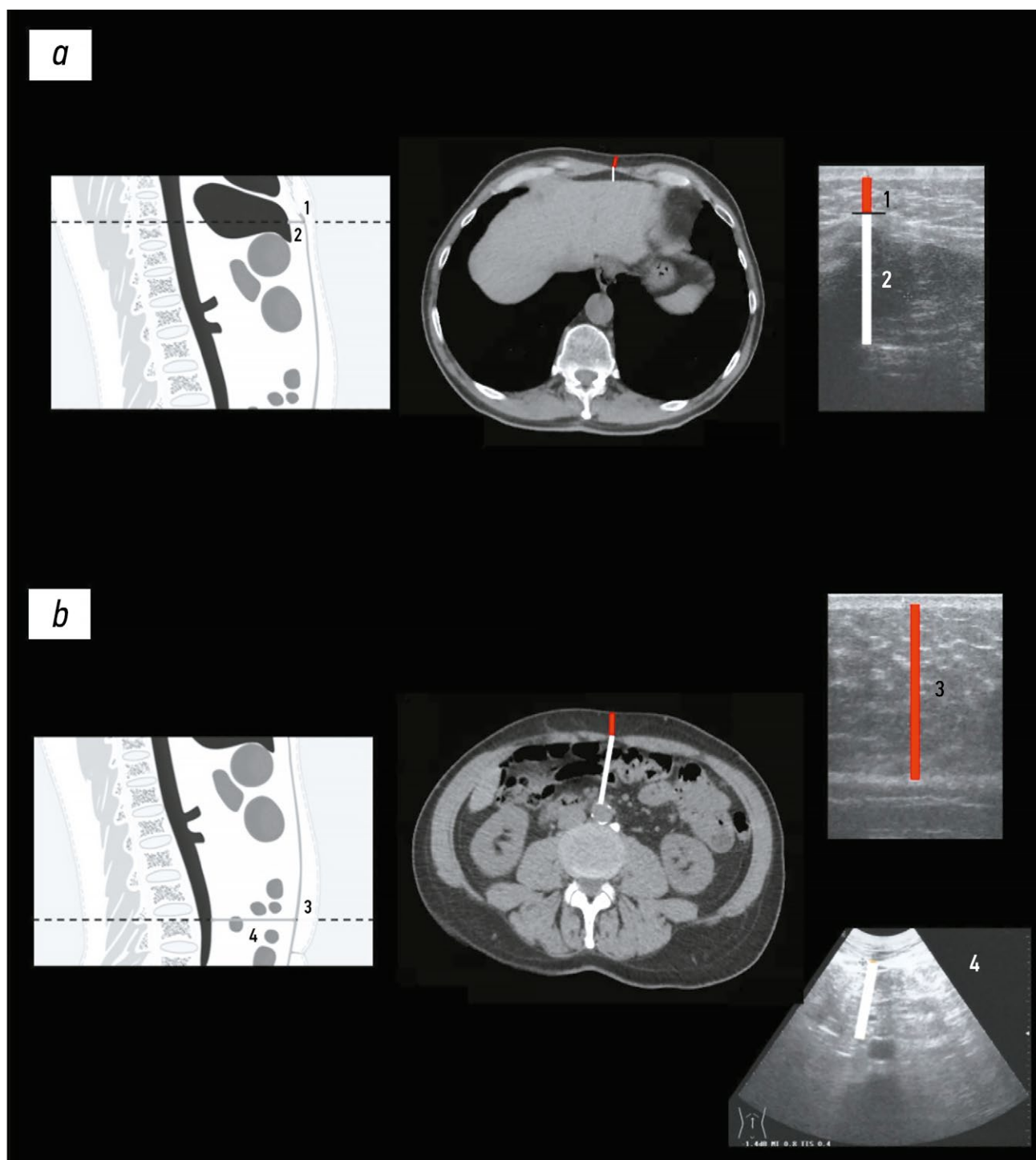


Рис. 2. Линейные измерения жировой ткани по данным ультразвукового исследования и компьютерной томографии: *a* — минимальная толщина подкожного жира живота (MinASFT) определяется как расстояние между передней поверхностью белой линии живота и дермо-гиподермальным переходом (1), измеренное в плоскости, проходящей через подпечевидную область. Толщину предбрюшинного жира (2) измеряют от передней поверхности брюшины, покрывающей печень, до задней поверхности белой линии живота в плоскости, проходящей через подпечевидную область; *b* — максимальная толщина подкожного жира живота (MaxASFT) определяется как расстояние между передней поверхностью белой линии живота и дермо-гиподермальным переходом (3), измеренное на уровне надпочечной области. Толщину внутрибрюшного жира принято измерять как расстояние от задней стенки брюшной мышцы до передней стенки аорты в надпочечной области (4).

жира. Они высоко коррелируют со значениями площади и объёма тканей, измеренными с помощью КТ и МРТ [79]. Отмечена переменная точность и надёжность индекса жировой ткани брюшной стенки, толщины жировой ткани

в брыжейке и толщины предбрюшинной жировой ткани по сравнению с данными КТ. В свою очередь, выявлена высокая корреляция других индексов, например толщины подкожного жира, со значениями площадей,

измеренными с помощью МРТ и КТ, включая корреляцию минимальной и максимальной толщины подкожного жира со значениями площадей, измеренными с помощью КТ [79].

УЗИ позволяет оценить внутриклеточное содержание жира, включая стеатоз печени, ассоциированный с развитием рассеянного склероза и сердечно-сосудистых заболеваний, а также внутримышечные жировые отложения, однако точность таких измерений может варьировать [80] (см. табл. 2).

УЗИ подходит для качественного и количественного анализа мышечной ткани по таким параметрам, как толщина мышц, площадь поперечного сечения (ППС), угол пеннации, длина мышечного пучка и экзогенность мышцы. Последний показатель помогает выявить миостеатоз, фиброз и воспаление [79, 80].

Несмотря на то что КТ и МРТ — это наиболее точные методы измерения ТМ, УЗИ демонстрирует умеренную и высокую корреляцию с результатами этих исследований при оценке различных показателей мышечной массы [81]. Тем не менее ни одно из существующих определений саркопении не включает данные УЗИ в качестве диагностического критерия.

Мышечную массу рассчитывают на основе измерения толщины мышечной ткани с помощью специального уравнения [82].

В исследовании на популяции здоровых взрослых японцев K. Sanada и соавт. [82] измерили толщину мышечной ткани в девяти анатомических областях и разработали регрессионные уравнения для оценки общей МСМ и МСМ путём умножения толщины мышц на рост. При сравнении с данными МРТ авторы отметили выраженную и сильную корреляцию результатов измерений соответствующих участков тела.

При измерении с помощью УЗИ основные структурные параметры, связанные с функциональными характеристиками скелетных мышц, такие как длина мышечного пучка, угол пеннации и ППС (рассчитываемая как отношение объёма мышцы к длине мышечного пучка) демонстрируют более выраженную связь с показателями мышечной функции по сравнению с ППС, измеренной с помощью КТ и МРТ [83].

Угол пеннации формируется в месте соединения мышечных волокон с глубокими и поверхностными апоневрозами. При измерении этого угла в покое и при движении можно получить данные о сократительной способности и механических свойствах мышц [84].

Одним из преимуществ метода является возможность динамического измерения угла пеннации, но существуют ограничения, связанные с двухмерным характером визуализации, небольшим полем обзора и невысокой точностью измерений, которая зависит от корректного позиционирования датчика [84, 85], поскольку в противном случае могут быть получены изображения невысокого качества, особенно при исследовании глубоких мышечных структур.

Преодолеть эти ограничения помогает МРТ, однако её разрешения недостаточны для визуализации отдельных

мышечных пучков. В последнее время в качестве эталонного метода количественной оценки структурной организации мышечной ткани *in vivo* применяют метод, основанный на диффузионно-тензорной визуализации [86].

Основные ограничения УЗИ при оценке КСТ связаны с зависимостью от квалификации оператора и отсутствием стандартизированных протоколов, что снижает воспроизводимость результатов. Кроме того, все параметры, измеряемые с помощью УЗИ, в той или иной степени зависят от возраста, что указывает на необходимость дальнейшей валидации метода (см. табл. 2).

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Развитие технологий КТ привело к появлению количественных методов оценки состояния костной и мышечной ткани. В настоящее время КТ и МРТ считают «золотым стандартом» исследований КСТ [35].

КТ позволяет с высокой точностью оценить количественно жировую ткань, её распределение и композиционный состав скелетных мышц в различных сегментах тела [87].

Современные многосрезовые компьютерные томографы со спиральным сканированием позволяют получать высокоразрешающие двухмерные и трёхмерные изображения всего тела или его отдельных сегментов. ЖМ и БЖМ различают по степени ослабления рентгеновского излучения при прохождении через ткани, что выражается в определённых значениях по шкале Хаунсфилда (НУ). Принято считать, что отрицательные значения по шкале Хаунсфилда соответствуют жировой ткани. Для её идентификации предлагают различные диапазоны: от минимального значения -200 до -30 НУ [88], при этом диапазоны для ВЖТ и ПЖТ незначительно различаются ($-150...-50$ и $-190...-30$ НУ соответственно).

Для мышечной ткани диапазон значений по шкале Хаунсфилда охватывает интервал от самого высокого значения для жировой ткани (-30) до 150 НУ [89, 90].

В клинической практике для минимизации лучевой нагрузки анализ КСТ методом КТ ограничивается 2D-анализом выбранных аксиальных срезов или одного среза, при котором измеренные площади используют для косвенной оценки общего объёма ЖМ и ТМ. Определение КСТ с помощью односрезовой КТ демонстрировало высокую согласованность с результатами измерений методом односрезовой МРТ [42, 91–93].

В большинстве случаев исследование проводят на уровне III поясничного позвонка (LIII), реже — на уровне III шейного позвонка (CIII) [94], XII грудного позвонка (TXII) [95] и середины бедра. Чаще всего используют полученные при КТ ППС и объёмные показатели, которые демонстрируют высокую корреляцию с данными исследований на трупном материале [91].

Для качественного анализа КСТ с помощью КТ в двухмерном и трёхмерном режимах необходимо осуществить сегментацию тканевых компартментов с использованием

специализированных диагностических компьютерных инструментов. Такие программы могут работать как в ручном, так и в полностью автоматизированном режиме. Наиболее распространены полуавтоматические методы, обеспечивающие баланс между точностью и эффективностью [90].

Чаще всего используют программное обеспечение, в котором сегментация, основанная на пороговых значениях, корректируется вмешательством человека, что устраняет проблему длительности процесса, характерную для полностью ручной сегментации [96].

В целом количественные методы анализа КСТ на основе КТ можно разделить на две группы по признаку доступности: коммерческие и представленные в открытом доступе. Преимущество программного обеспечения с открытым доступом [например, 3D Slicer® (MIT, США), ITK-SNAP® (University of Pennsylvania, США), MITK® (German Cancer Research Center, Германия), ePAD Imaging Platform® (Stanford University, США), ImageJ® (National Institutes of Health, США) и RIL-Contour® (Johns Hopkins University, США)] заключается в свободном распространении и отсутствии финансовых затрат на использование. В то же время коммерческое программное обеспечение [например, SliceOmatic® (Tomovision, Канада), OsiriX® (Pixmeo SARL, Швейцария) и AMBRA® (Ambra Health, США)] можно адаптировать под конкретные системы визуализации [90].

Определяемые с помощью КТ количественные параметры жировой ткани, например площадь и объём ВЖТ и ПЖТ, коррелируют с клиническими показателями, однако для этих измерений не установлены стандартизированные пороговые значения (см. рис. 2).

Кроме того, КТ позволяет измерить массу и плотность мышечной ткани. Мышечную массу измеряют обычно с помощью ППС и корректируют по росту пациента, чтобы получить индекс МСМ (иМСМ) [97]. Плотность мышц, которую необходимо установить для количественной оценки миостеатоза, измеряют по площади внутримышечной жировой ткани и ослаблению рентгеновского излучения в мышцах [98].

Благодаря взаимосвязи этих двух параметров можно более точно оценить саркопению как комбинацию потери мышечной ткани и нарушения функции под влиянием миостеатоза [97, 99–104].

Наиболее часто иМСМ измеряют в мышцах брюшной стенки, на уровне LIII, а внутримышечную жировую ткань и ослабление рентгеновского излучения в мышцах — на уровне середины бедра. В недавно опубликованном обзоре В. Аmini и соавт. [97] представлены наиболее распространённые пороговые значения иМСМ в мышцах брюшной стенки у мужчин и женщин — 52–55 и 39–41 см²/м² соответственно. Однако консенсус по этому вопросу не достигнут, поэтому единые диагностические пороговые значения для других скелетных мышц в настоящее время отсутствуют.

Тем не менее КТ имеет свои ограничения, а именно: высокий уровень облучения (за одно стандартное

исследование пациент получает приблизительно 8 мЗв), что существенно превышает естественный радиационный фон (2,5 мЗв) [64].

Новые методы, такие как количественная КТ (кКТ) и периферическая кКТ, позволяют одновременно оценивать параметры костной и мягких тканей в центральных и периферических частях тела [105].

Помимо содержания минеральных веществ в костной ткани, периферическая кКТ позволяет количественно оценить области мягких тканей, кроме того, её применяют для изучения взаимосвязи между костями, мышцами и жиром [105].

Первоначально анализ ограничивался большеберцовой костью, однако в настоящее время, благодаря технологическим достижениям и использованию более мощных аппаратов, можно исследовать более обширные области, вплоть до середины бедра. Кроме того, периферическая кКТ позволяет с высокой точностью измерить плотность мышц и ППС, поэтому её часто применяют для измерения МСМ на уровне 66% большеберцовой кости [105].

Недавно появилась улучшенная версия технологии периферической кКТ — периферическая кКТ высокого разрешения. Её всё чаще используют в качестве основного метода оценки структурной микроорганизации костей в дистальном отделе большеберцовой кости. Современные сканеры второго поколения, обладающие более высоким пространственным разрешением и гентри большего размера по сравнению с моделями первого поколения, которые ограничены визуализацией дистальных отделов конечностей, позволяют получать изображения на уровне 66% проксимального отдела большеберцовой кости. Это обеспечивает возможность для оценки параметров мышц с высоким разрешением (размер вокселя 60,7 мкм по сравнению с 200 мкм у предыдущих поколений сканеров) [105].

М.С. Erlandson и соавт. [106] впервые сравнили ППС и плотность мышечной ткани, измеренные с помощью периферической кКТ, с аналогичными показателями мышечно-сухожильной ткани, полученными с использованием периферической кКТ высокого разрешения, у женщин в постменопаузе. Авторы обнаружили умеренную корреляцию ($r=0,44$; $p<0,001$) между ППС и плотностью мышечной ткани ($r=0,69-0,70$; $p<0,01$).

Позднее К.N. Hildebrand и соавт. [107] установили положительную корреляцию при сравнении ППС и плотности мышечной ткани, измеренных с помощью периферической кКТ и периферической кКТ высокого разрешения второго поколения ($R^2=0,66$, $R^2=0,95$ соответственно; $p<0,001$).

Кроме того, периферическая кКТ высокого разрешения позволяет дифференцировать жировую и тощую скелетно-мышечную ткань и оценить такие параметры качества мышечной ткани, как внутримышечную жировую ткань. В настоящее время разрабатывают новые методы и протоколы на основе технологии быстрого сканирования периферической кКТ высокого разрешения с низкой лучевой

нагрузкой (3 мкЗв за одно исследование) для получения информации о состоянии костей и раннего выявления миостеатоза и саркопении с целью своевременной разработки индивидуальной тактики ведения пациента [108].

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

МРТ — это метод поперечной визуализации, обеспечивающий получение двухмерных и трёхмерных изображений с высоким контрастным и пространственным разрешением, что делает его «золотым стандартом» исследования КСТ в условиях *in vivo* [64].

В частности, с помощью МРТ можно измерить количество и распределение разных подгрупп жировой ткани, включая ВЖТ, ПЖТ и эктопическую жировую ткань, представленную в мышцах, печени, поджелудочной железе, сердце и костном мозге [109, 110]. Кроме того, МРТ отличается более высокой чувствительностью по сравнению с КТ при оценке объёма и качественного состава мышечной ткани для своевременного выявления её жирового перерождения [64, 111]. Исследование КСТ с помощью МРТ проводится в несколько этапов:

- получение;
- реконструкция;
- сегментация;
- количественный анализ изображений [112].

К настоящему времени разработано несколько последовательностей для определения и измерения жировой ткани, а также множество методик получения изображений, однако стандартный протокол исследования всё ещё отсутствует. T1-взвешенные изображения МРТ, демонстрирующие высокую интенсивность сигнала жировой ткани, подходят для количественной оценки ПЖТ, ВЖТ, жировой ткани костного мозга, а также внутримышечной жировой ткани (рис. 3). T2-взвешенные изображения,

характеризующиеся гиперинтенсивным сигналом от неё, в основном используют для количественной оценки жира в мышцах нижних конечностей, но они непригодны для оценки ПЖТ и ВЖТ [113].

«Золотым стандартом» неинвазивного *in vivo* исследования эктопического жира в скелетных мышцах (который подразделяется на внутриклеточные и внеклеточные мышечные липиды), печени, костном мозге и сердце является одновоксельная протонная магнитно-резонансная спектроскопия (^1H -MPC), использующая точечно-разрешённую спектроскопию или последовательности в режиме стимулированного эха (STEAM) [114].

Количественную оценку жировой ткани можно выполнить при высоком пространственном разрешении с помощью МРТ с кодированием химического сдвига протонов воды и жира, что является преимуществом по сравнению с одновоксельной MPC, поскольку жир может распределяться в пространстве неравномерно, особенно в костном мозге [110, 115].

Этот метод, известный также как метод DIXON, основан на кодировании информации о химическом сдвиге и пространственном разрешении в ходе одного сканирования и позволяет оценить вклад сигналов от воды и жира в каждом вокселе, исходя из допущения о фиксированном смещении резонансной частоты между сигналами воды и жира. Поскольку молекулы воды и жира прецессируют с разной скоростью, попеременно находясь в фазе и противофазе, на изображениях формируются четыре комбинации сигналов: только вода, только жир, вода плюс жир и вода минус жир [115].

С помощью этой технологии можно обнаружить очаговое и диффузное эктопическое накопление жира, особенно в печени, дифференцировать межмышечный и внутримышечный жир (что позволяет преодолеть ограничения T1-взвешенного режима визуализации), а также количественно оценить ВЖТ и ПЖТ и получить отдельные изображения воды и жира [113].

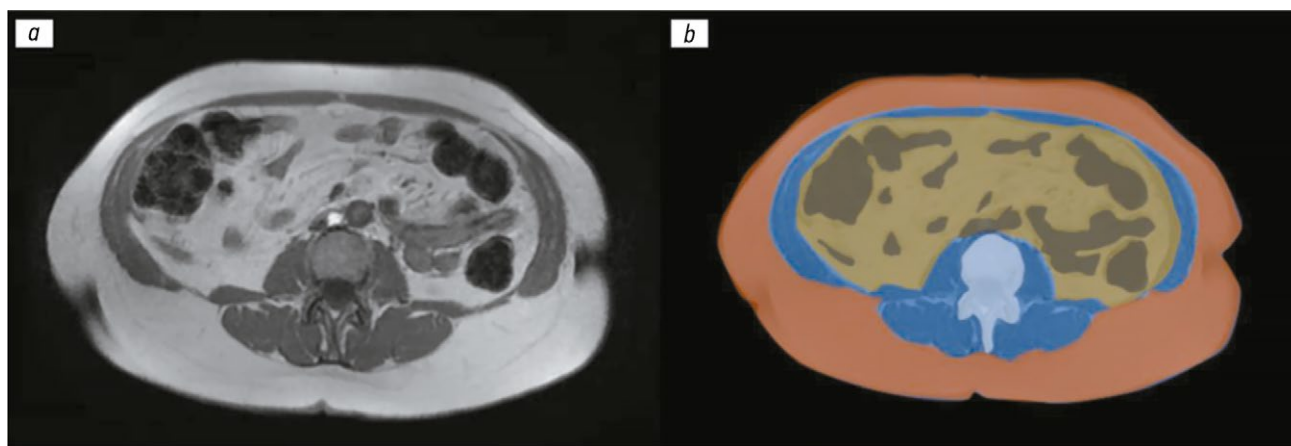


Рис. 3. Измерение площади различных жировых компарментов с применением магнитно-резонансной томографии: *a* — изображение, полученное в режиме T1-взвешенного быстрого спин-эха (T1-weighted Fast Spin Echo) на уровне II–III поясничных позвонков; *b* — сегментация подкожной жировой ткани (оранжевый цвет), висцеральной жировой ткани (жёлтый цвет) и нежировой ткани (синий цвет). Газ в петлях кишечника визуализируется как области чёрного цвета, а костная ткань — как области белого цвета.

К настоящему времени разработаны различные методы получения изображений: от сканирования всего тела до региональных протоколов с получением одного или нескольких срезов.

Сканирование всего тела — наиболее точный метод оценки распределения и количественного определения жировой ткани, однако он отличается высокой продолжительностью и применяется преимущественно в исследовательских целях [116].

Наиболее часто выполняют сканирование брюшной полости с применением двух протоколов: односрезового и многосрезового. Многосрезовый протокол является методом выбора для продольных исследований: сканирование от вершины печени до вершины головки бедренной кости с непрерывной или выборочной регистрацией срезов позволяет получить полную информацию о КСТ за меньшее время [116].

В последнее время всё более широкое распространение получает односрезовый протокол, особенно при проведении масштабных исследований, благодаря небольшой продолжительности исследования, более простой процедуре обработки и сегментации изображений, а также высокой корреляции с данными о ЖМ и ТМ, полученными с помощью многосрезового протокола и сканирования всего тела [116].

Однако единого мнения относительно стандартного анатомического ориентира не существует из-за вариабельности характеристик, связанных с полом, возрастом, ИМТ и антропометрическими данными пациентов. Согласно результатам исследований, односрезовое сканирование на уровне LIII–LIV обеспечивает наилучшую корреляцию с данными сканирования всего тела для оценки ПЖТ, а сканирование на уровне LI–LII — для оценки ВЖТ [117–121].

В некоторых работах отмечают высокую прогностическую способность односрезовой МРТ на уровне LIII для оценки общего объёма скелетных мышц, ВЖТ и ПЖТ [122–124].

По данным J.L. Kuk и соавт. [125], у женщин в постменопаузе отмечают наиболее выраженную корреляцию оценки ВЖТ при проведении односрезового сканирования на уровне LI–LII и показателями метаболического синдрома.

Ввиду сложности анализа таких данных разработаны полуавтоматические и полностью автоматизированные системы сегментации компонентов тела на основе анализа гистограм интенсивности сигнала и обнаружения границ [126].

Автоматическая оценка ВЖТ с помощью методов визуализации в T1-взвешенном режиме и с разделением сигналов воды и жира демонстрирует сопоставимый уровень диагностической точности [127], при этом в отличие от ПЖТ показатели ВЖТ связаны с более выраженным метаболическим, атерогенным, дислипидемическим и ассоциированным с ожирением фенотипом и могут рассматриваться как наиболее значимый фактор развития инсулинорезистентности [128].

Вместе с тем J. West и соавт. [129] показали, что у женщин в постменопаузе сканирование методом DIXON позволяет с высокой точностью описать более широкий спектр жировых и мышечных компартментов, например ВЖТ, ПЖТ и жировую инфильтрацию в мышцах бедра, голени и живота (коэффициент вариации 1,1–1,5 для ВЖТ и ПЖТ и 0,8–1,9 для групп мышц).

Установлена корреляция параметров МРТ с показателями метаболического контроля и эффективностью соблюдения диеты и увеличения физической нагрузки при сахарном диабете [130, 131].

Несмотря на то что МРТ остаётся «золотым стандартом» оценки качества и массы мышечной ткани, применение этого метода в клинической практике ограничено высокой стоимостью, сложностью проведения и его низкой доступностью. МРТ позволяет количественно оценить размер мышц (толщину, ППС и массу) и их качество (длину пучков и угол пеннации) [91] (см. табл. 2).

Тем не менее всё ещё отсутствует консенсус относительно уровня проведения исследования и пороговых значений для оценки состояния скелетных мышц и классификации потерь мышечной массы для выявления саркопении.

Односрезовое сканирование на уровне LIII позволяет определить общую площадь мышц живота, однако большинство протоколов сосредоточены на исследовании уровня середины бедра, то есть предназначены для оценки скелетных мышц бедра и жировой инфильтрации [132].

Одним из преимуществ МРТ является возможность выявления изменений мышечной структуры, связанных со старением и прогрессированием заболевания. К ним относят накопление жировой и фиброзной ткани, которые не обладают сократительной способностью, и развитие отёков [133].

Значения ППС (см²) и объёма скелетной мышцы без учёта жировой ткани, жировой ткани вокруг мышц и жировой ткани внутри мышц (интерстициальной жировой ткани), измеренные с помощью МРТ, демонстрируют высокую степень корреляции с данными кадаверных исследований [91].

Методы разделения сигналов воды и жира, основанные на химическом сдвиге, двухточечный метод DIXON, а также ¹H-MPC позволяют количественно оценить содержание внутриклеточных мышечных липидов, которое, как установлено, отрицательно коррелирует с инсулиновой чувствительностью [114].

В исследованиях метаболизма внутримышечную жировую ткань рассматривают как отдельное депо, которое независимо от ВЖТ способствует развитию метаболического синдрома [121].

A. Macaluso и соавт. [134] сообщили о значимо большем объёме внутримышечной несократимой ткани и значимо меньшем объёме сократительной мышечной ткани в мышцах задней поверхности бедра и четырёхглавых мышцах у женщин пожилого возраста (которые находятся в периоде постменопаузы; средний возраст 69,5±2,4 года) по сравнению с женщинами молодого возраста (22,8±5,7 года). Однако ключевым недостатком

МРТ остаётся отсутствие единых протоколов, что препятствует корректному сравнению результатов между исследованиями. МРТ применяют преимущественно в научных исследованиях для изучения таких заболеваний, как метаболический синдром, ожирение и сахарный диабет 2-го типа [114, 131]. Несмотря на большой потенциал, применение этих методов в клинической практике всё ещё носит экспериментальный характер.

В будущем для анализа КСТ будут задействованы технологии искусственного интеллекта, которые позволят автоматизировать сегментацию и количественную оценку тканей, что найдёт применение в масштабных когортных исследованиях и клинической практике. Для преодоления ограничений ручной сегментации в крупных исследованиях активно разрабатывают модели искусственного интеллекта (например, на основе глубокого обучения с использованием нейросетей), призванные повысить скорость и качество анализа данных МРТ и КТ [135].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На всех этапах старения у женщин происходит изменение КСТ, в значительной степени обусловленное гормональными сдвигами в период менопаузы.

К настоящему времени предложено и изучено множество визуализационных маркёров КСТ, доказана их связь с кардиометаболическим риском и влияние на частоту развития сопутствующих заболеваний, смертельных исходов, функциональных нарушений и старческой астении. На основании актуальных научных данных, подтверждающих надёжность и потенциальную корреляцию исследуемых визуализационных маркёров, можно определить, какие из них являются наиболее информативными и подходят для внедрения в клиническую практику.

Существующие методы медицинской визуализации (ДРА, УЗИ, КТ и МРТ) можно использовать как при целенаправленном исследовании КСТ, так и при проведении исследований по другим клиническим показателям с получением соответствующих данных, что открывает широкие возможности для их применения в будущем.

Разнообразные маркёры КСТ, измеряемые с помощью различных технологий визуализации, можно использовать для улучшения тактики ведения женщин в период старения и постменопаузы для профилактики или снижения выраженности неблагоприятного старения и снижения частоты развития сопутствующих возрастных заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Thibault R, Genton L, Pichard C. Body composition: Why, when and for who? *Clinical Nutrition*. 2012;31(4):435–447. doi: 10.1016/j.clnu.2011.12.011
2. Fox CS, Massaro JM, Hoffmann U, et al. Abdominal visceral and subcutaneous adipose tissue compartments. *Circulation*. 2007;116(1):39–48. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675355
3. Neeland IJ, Ross R, Després JP, et al. Visceral and ectopic fat, atherosclerosis, and cardiometabolic disease: a position

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. M.P. Aparisi Gómez — концепции работы, анализ литературных данных, написание черновика рукописи; M.R. Petrera — анализ литературных данных, написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование текста рукописи; A. Santoro, M.L. Petroni, C. Franceschi, G. Marchesini, G. Guglielmi, A. Bazzocchi — пересмотр и редактирование текста рукописи; C. Gasperini — анализ литературных данных, пересмотр и редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими организациями), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей статьи авторы не использовали ранее полученные и опубликованные сведения (данные, текст, иллюстрации).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два члена редакционной коллегии.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: M.P. Aparisi Gómez: conceptualization, data curation, writing—original draft; M.R. Petrera: data curation, writing, reviewing; A. Santoro, M.L. Petroni, C. Franceschi, G. Marchesini, G. Guglielmi, A. Bazzocchi: writing—review & editing; C. Gasperini: data curation, writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This article was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two members of the Editorial Board.

statement. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*. 2019;7(9):715–725. doi: 10.1016/S2213-8587(19)30084-1

4. Patel P, Abate N. Role of subcutaneous adipose tissue in the pathogenesis of insulin resistance. *Journal of Obesity*. 2013;2013:1–5. doi: 10.1155/2013/489187

5. Stolk RP, Meijer R, Mali WPTM, et al. Ultrasound measurements of intraabdominal fat estimate the metabolic syndrome better than do

- measurements of waist circumference. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003;77(4):857–860. doi: 10.1093/ajcn/77.4.857 EDN: GKGESZ
6. Busetto L, Baggio MB, Zurlo F, et al. Assessment of abdominal fat distribution in obese patients: anthropometry versus computerized tomography. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2012;16(10):731–736. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1330952/>
 7. Di Somma C, Brunelli V, Savanelli MC, et al. Somatopause: state of the art. *Minerva Endocrinol*. 2011;36(3):243–255. Available from: <https://www.minervamedica.it/en/journals/minerva-endocrinology/>
 8. Ashpole NM, Sanders JE, Hodges EL, et al. Growth hormone, insulin-like growth factor-1 and the aging brain. *Experimental Gerontology*. 2015;68:76–81. doi: 10.1016/j.exger.2014.10.002
 9. Genaro PS, Pinheiro MM, Szejnfeld VL, Martini LA. Secondary hyperparathyroidism and its relationship with sarcopenia in elderly women. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2015;60(2):349–353. doi: 10.1016/j.archger.2015.01.005
 10. Baczynski R, Massry SG, Magott M, et al. Effect of parathyroid hormone on energy metabolism of skeletal muscle. *Kidney International*. 1985;28(5):722–727. doi: 10.1038/ki.1985.190 EDN: OWJCKF
 11. Bird ML, El Haber N, Batchelor F, et al. Vitamin D and parathyroid hormone are associated with gait instability and poor balance performance in mid-age to older aged women. *Gait & Posture*. 2018;59:71–75. doi: 10.1016/j.gaitpost.2017.09.036
 12. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al; Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 2018;48(1):16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169 EDN: OIPUXJ
 13. Kanis JA, Cooper C, Rizzoli R, et al; on behalf of the Scientific Advisory Board of the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis (ESCEO) and the Committees of Scientific Advisors and National Societies of the International Osteoporosis Foundation (IOF). Correction to: European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis International*. 2019;31(1):209–209. doi: 10.1007/s00198-019-05184-3 EDN: JUIPFL
 14. Martin L, Birsell L, MacDonald N, et al. Cancer cachexia in the age of obesity: skeletal muscle depletion is a powerful prognostic factor, independent of body mass index. *Journal of Clinical Oncology*. 2013;31(12):1539–1547. doi: 10.1200/JCO.2012.45.2722
 15. Holmes CJ, Racette SB. 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 EDN: EASQSD
 16. Prado CM, Ford KL, Gonzalez MC, et al. Nascent to novel methods to evaluate malnutrition and frailty in the surgical patient. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2022;47(S1):S54–S68. doi: 10.1002/jpen.2420 EDN: DRWFZD
 17. Gurka MJ, Vishnu A, Santen RJ, DeBoer MD. Progression of metabolic syndrome severity during the menopausal transition. *Journal of the American Heart Association*. 2016;5(8):14. doi: 10.1161/JAHA.116.003609
 18. Santoro A, Guidarelli G, Ostan R, et al. Gender-specific association of body composition with inflammatory and adipose-related markers in healthy elderly Europeans from the NU-AGE study. *European Radiology*. 2019;29(9):4968–4979. doi: 10.1007/s00330-018-5973-2 EDN: FRENWV
 19. Kershaw EE, Flier JS. Adipose tissue as an endocrine organ. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2004;89(6):2548–2556. doi: 10.1210/jc.2004-0395
 20. Karvonen-Gutierrez C, Kim C. Association of mid-life changes in body size, body composition and obesity status with the menopausal transition. *Healthcare*. 2016;4(3):42. doi: 10.3390/healthcare4030042
 21. Son MK, Lim NK, Lim JY, et al. Difference in blood pressure between early and late menopausal transition was significant in healthy Korean women. *BMC Women's Health*. 2015;15(1):64. doi: 10.1186/s12905-015-0219-9 EDN: MKHCER
 22. El Khoudary SR, Wang L, Brooks MM, et al. Increase HDL-C level over the menopausal transition is associated with greater atherosclerotic progression. *Journal of Clinical Lipidology*. 2016;10(4):962–969. doi: 10.1016/j.jacl.2016.04.008 EDN: XTF5BN
 23. Joon Cho G, Hyun Lee J, Tae Park H, et al. Postmenopausal status according to years since menopause as an independent risk factor for the metabolic syndrome. *Menopause*. 2008;15(3):524–529. doi: 10.1097/gme.0b013e3181559860
 24. Stefńska A, Sypniewskay G, Senterkiewicz L. Inflammatory markers and cardiovascular risk in healthy Polish women across the menopausal transition. *Clinical Chemistry*. 2005;51(10):1893–1895. doi: 10.1373/clinchem.2005.052191
 25. Janssen I. Menopause and the metabolic syndrome: the Study of Women's Health Across the Nation. *Archives of Internal Medicine*. 2008;168(14):1568. doi: 10.1001/archinte.168.14.1568
 26. Matthews KA, Kuller LH, Sutton-Tyrrell K, Chang YF. Changes in cardiovascular risk factors during the perimenopause and postmenopause and carotid artery atherosclerosis in healthy women. *Stroke*. 2001;32(5):1104–1111. doi: 10.1161/01.STR.32.5.1104
 27. Wang Q, Hassager C, Ravn P, et al. Total and regional body-composition changes in early postmenopausal women: age-related or menopause-related? *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1994;60(6):843–848. doi: 10.1093/ajcn/60.6.843
 28. Razmjou S, Abdulnour J, Bastard JP, et al. Body composition, cardiometabolic risk factors, physical activity, and inflammatory markers in premenopausal women after a 10-year follow-up: a MONET study. *Menopause*. 2018;25(1):89–97. doi: 10.1097/GME.0000000000000951
 29. Sternfeld B. Physical activity and changes in weight and waist circumference in midlife women: findings from the Study of Women's Health Across the Nation. *American Journal of Epidemiology*. 2004;160(9):912–922. doi: 10.1093/aje/kwh299 EDN: IKNOTZ
 30. Päivi M, Mirja H, Terttu P. Changes in physical activity involvement and attitude to physical activity in a 16-year follow-up study among the elderly. *Journal of Aging Research*. 2010;2010:1–7. doi: 10.4061/2010/174290
 31. Hamrick MW, McGee-Lawrence ME, Frechette DM. Fatty infiltration of skeletal muscle: mechanisms and comparisons with bone marrow adiposity. *Frontiers in Endocrinology*. 2016;7(FEB):69. doi: 10.3389/fendo.2016.00069 EDN: VUMQZO
 32. Dennison EM, Sayer AA, Cooper C. Epidemiology of sarcopenia and insight into possible therapeutic targets. *Nature Reviews Rheumatology*. 2017;13(6):340–347. doi: 10.1038/nrrheum.2017.60
 33. Reginster JY, Beaudart C, Buckinx F, Bruyère O. Osteoporosis and sarcopenia. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2016;19(1):31–36. doi: 10.1097/MCO.0000000000000230
 34. Curtis E, Litwic A, Cooper C, Dennison E. Determinants of muscle and bone aging. *Journal of Cellular Physiology*. 2015;230(11):2618–2625. doi: 10.1002/jcp.25001 EDN: UVZLFR
 35. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*. 2010;39(4):412–423. doi: 10.1093/ageing/afq034 EDN: NZQOZL
 36. Lan YL, Zou S, Zhang C, et al. Update on the effect of estradiol in postmenopause women with Alzheimer's disease: a systematic review. *Acta Neurologica Belgica*. 2016;116(3):249–257. doi: 10.1007/s13760-015-0593-y
 37. Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2001;56(3):M146–M157. doi: 10.1093/gerona/56.3.m146
 38. Xu L, Zhang J, Shen S, et al. Association between body composition and frailty in elder inpatients. *Clinical Interventions in Aging*. 2020;15:313–320. doi: 10.2147/CIA.S243211 EDN: OUVDFK
 39. Bazzocchi A, Diano D, Ponti F, et al. Health and ageing: a cross-sectional study of body composition. *Clinical Nutrition*. 2013;32(4):569–578. doi: 10.1016/j.clnu.2012.10.004
 40. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1992;56(1):19–28. doi: 10.1093/ajcn/56.1.19
 41. Bazzocchi A, Ponti F, Albisinni U, et al. DXA: Technical aspects and application. *European Journal of Radiology*. 2016;85(8):1481–1492. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.04.004
 42. Borga M, West J, Bell JD, et al. Advanced body composition assessment: from body mass index to body composition profiling. *Journal of Investigative Medicine*. 2018;66(5):1–9. doi: 10.1136/jim-2018-000722
 43. Webber CE. Reproducibility of DXA measurements of bone mineral and body composition: application to routine clinical measurements. In: Preedy VR, editor. *Handbook of Anthropometry*. New York: Springer New York; 2012. P. 151–165. ISBN: 978-1-4419-1788-1 doi: 10.1007/978-1-4419-1788-1_8
 44. Lasky MA. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition*. 1996;12(1):45–51. doi: 10.1016/0899-9007(95)00017-8

45. Andreoli A, Scalzo G, Masala S, et al. Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *La radiologia medica*. 2009;114(2):286–300. doi: 10.1007/s11547-009-0369-7 EDN: XWSGFI
46. Offenheimer A, Breyer-Kohansal R, Hartl S, et al. Reference values of body composition parameters and visceral adipose tissue (VAT) by DXA in adults aged 18–81 years—results from the LEAD cohort. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2020;74(8):1181–1191. doi: 10.1038/s41430-020-0596-5 EDN: GHWJER
47. Vasan SK, Osmond C, Canoy D, et al. Comparison of regional fat measurements by dual-energy X-ray absorptiometry and conventional anthropometry and their association with markers of diabetes and cardiovascular disease risk. *International Journal of Obesity*. 2017;42(4):850–857. doi: 10.1038/ijo.2017.289
48. Aparisi Gómez MP, Ponti F, Mercatelli D, et al. Correlation between DXA and laboratory parameters in normal weight, overweight, and obese patients. *Nutrition*. 2019;61:143–150. doi: 10.1016/j.nut.2018.10.023 EDN: WNMOCR
49. Kaul S, Rothney MP, Peters DM, et al. Dual-energy X-Ray absorptiometry for quantification of visceral fat. *Obesity*. 2012;20(6):1313–1318. doi: 10.1038/oby.2011.393
50. Shepherd JA, Ng BK, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body composition by DXA. *Bone*. 2017;104:101–105. doi: 10.1016/j.bone.2017.06.010
51. Shepherd JA, Baim S, Bilezikian JP, Schousboe JT. Executive Summary of the 2013 International Society for Clinical Densitometry Position Development Conference on Body Composition. *Journal of Clinical Densitometry*. 2013;16(4):489–495. doi: 10.1016/j.jocd.2013.08.005
52. 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
53. Fan B, Shepherd JA, Levine MA, et al. National health and nutrition examination survey whole-body dual-energy X-ray absorptiometry reference data for GE lunar systems. *Journal of Clinical Densitometry*. 2014;17(3):344–377. doi: 10.1016/j.jocd.2013.08.019
54. Kullberg J, Brandberg J, Angelhed JE, et al. Whole-body adipose tissue analysis: comparison of MRI, CT and dual energy X-ray absorptiometry. *The British Journal of Radiology*. 2009;82(974):123–130. doi: 10.1259/bjr/80083156
55. Walowski CO, Braun W, Maisch MJ, et al. Reference values for skeletal muscle mass – current concepts and methodological considerations. *Nutrients*. 2020;12(3):755. doi: 10.3390/nu12030755 EDN: LKUAPI
56. Kim J, Wang ZM, Heymsfield SB, et al. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002;76(2):378–383. doi: 10.1093/ajcn/76.2.378
57. Visser M, Fuerst T, Lang T, et al. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. *Journal of Applied Physiology*. 1999;87(4):1513–1520. doi: 10.1152/jappl.1999.87.4.1513
58. Hansen RD, Williamson DA, Finnegan TP, et al. Estimation of thigh muscle cross-sectional area by dual-energy X-ray absorptiometry in frail elderly patients. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2007;86(4):952–958. doi: 10.1093/ajcn/86.4.952
59. Zhao X, Wang ZM, Zhang J, et al. Estimation of total body skeletal muscle mass in chinese adults: prediction model by dual-energy X-ray absorptiometry. *PLoS ONE*. 2013;8(1):e53561. doi: 10.1371/journal.pone.0053561
60. Freda PU, Shen W, Reyes-Vidal CM, et al. Skeletal muscle mass in acromegaly assessed by magnetic resonance imaging and dual-photon X-ray absorptiometry. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2009;94(8):2880–2886. doi: 10.1210/jc.2009-0026
61. Bridge P, Pocock NA, Nguyen T, et al. Validation of longitudinal DXA changes in body composition from pre- to mid-adolescence using MRI as reference. *Journal of Clinical Densitometry*. 2011;14(3):340–347. doi: 10.1016/j.jocd.2011.04.005
62. Bredella MA, Ghomi RH, Thomas BJ, et al. Comparison of DXA and CT in the assessment of body composition in premenopausal women with obesity and anorexia nervosa. *Obesity*. 2010;18(11):2227–2233. doi: 10.1038/oby.2010.5 EDN: NZDTDL
63. Bilsborough JC, Greenway K, Opar D, et al. The accuracy and precision of DXA for assessing body composition in team sport athletes. *Journal of Sports Sciences*. 2014;32(19):1821–1828. doi: 10.1080/02640414.2014.926380
64. Lee K, Shin Y, Huh J, et al. Recent issues on body composition imaging for sarcopenia evaluation. *Korean Journal of Radiology*. 2019;20(2):205. doi: 10.3348/kjr.2018.0479
65. Bauer J, Morley JE, Schols AMWJ, et al. Sarcopenia: a time for action. An SCWD position paper. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2019;10(5):956–961. doi: 10.1002/jcsm.12483
66. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *American Journal of Epidemiology*. 1998;147(8):755–763. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a009520 EDN: IKMFOZ
67. Guglielmi G, Ponti F, Agostini M, et al. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2016;28(6):1047–1060. doi: 10.1007/s40520-016-0589-3 EDN: HRRITUO
68. Schweighofer N, Colantonio C, Haudum CW, et al. DXA-derived indices in the characterisation of sarcopenia. *Nutrients*. 2021;14(1):186. doi: 10.3390/nu14010186 EDN: KJWN0X
69. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2002;50(5):889–896. doi: 10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x EDN: BAMXZD
70. Kim YS, Lee Y, Chung YS, et al. Prevalence of sarcopenia and sarcopenic obesity in the Korean population based on the Fourth Korean National Health and Nutritional Examination Surveys. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2012;67(10):1107–1113. doi: 10.1093/gerona/gls071
71. Imboden MT, Swartz AM, Finch HW, et al. Reference standards for lean mass measures using GE dual energy x-ray absorptiometry in Caucasian adults. *PLoS ONE*. 2017;12(4):e0176161. doi: 10.1371/journal.pone.0176161
72. Alkahtani SA. A cross-sectional study on sarcopenia using different methods: reference values for healthy Saudi young men. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017;18(1):119. doi: 10.1186/s12891-017-1483-7 EDN: IDHMXM
73. Sanada K, Miyachi M, Tanimoto M, et al. A cross-sectional study of sarcopenia in Japanese men and women: reference values and association with cardiovascular risk factors. *European Journal of Applied Physiology*. 2010;110(1):57–65. doi: 10.1007/s00421-010-1473-z EDN: JBDBBS
74. Diano D, Ponti F, Guerri S, et al. Upper and lower limbs composition: a comparison between anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry in healthy people. *Archives of Osteoporosis*. 2017;12(1):78. doi: 10.1007/s11657-017-0374-8
75. Baracos VE, Arribas L. Sarcopenic obesity: hidden muscle wasting and its impact for survival and complications of cancer therapy. *Annals of Oncology*. 2018;29:ii1–ii9. doi: 10.1093/annonc/mdx810
76. Chiles Shaffer N, Ferrucci L, Shardell M, et al. Agreement and predictive validity using less-conservative foundation for the National Institutes of Health Sarcopenia Project Weakness Cutpoints. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2016;65(3):574–579. doi: 10.1111/jgs.14706
77. Cawthon PM, Peters KW, Shardell MD, et al. Cutpoints for low appendicular lean mass that identify older adults with clinically significant weakness. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2014;69(5):567–575. doi: 10.1093/gerona/glu023
78. Kyle UG, Genton L, Hans D, et al. Age-related differences in fat-free mass, skeletal muscle, body cell mass and fat mass between 18 and 94 years. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2001;55(8):663–672. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601198
79. Bazzocchi A, Filonzi G, Ponti F, et al. Ultrasound: Which role in body composition? *European Journal of Radiology*. 2016;85(8):1469–1480. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.04.005 EDN: WVPHNV
80. Bazzocchi A, Filonzi G, Ponti F, et al. The Role of Ultrasonography in the evaluation of abdominal fat. *Academic Radiology*. 2013;20(10):1278–1285. doi: 10.1016/j.acra.2013.07.009
81. Ticinesi A, Meschi T, Narici MV, et al. Muscle ultrasound and sarcopenia in older individuals: a clinical perspective. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2017;18(4):290–300. doi: 10.1016/j.jamda.2016.11.013
82. Sanada K, Kearns CF, Midorikawa T, Abe T. Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *European Journal of Applied Physiology*. 2005;96(1):24–31. doi: 10.1007/s00421-005-0061-0 EDN: OIBMAZ
83. Narici MV, Maganaris CN, Reeves ND, Capodaglio P. Effect of aging on human muscle architecture. *Journal of Applied Physiology*. 2003;95(6):2229–2234. doi: 10.1152/japplphysiol.00433.2003
84. Kwah LK, Pinto RZ, Diong J, Herbert RD. Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: a systematic review. *Journal of Applied Physiology*. 2013;114(6):761–769. doi: 10.1152/japplphysiol.01430.2011

- 85.** Bolsterlee B, Gandevia SC, Herbert RD. Ultrasound imaging of the human medial gastrocnemius muscle: how to orient the transducer so that muscle fascicles lie in the image plane. *Journal of Biomechanics*. 2016;49(7):1002–1008. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.02.014
- 86.** Körting C, Schlippe M, Petersson S, et al. In vivo muscle morphology comparison in post-stroke survivors using ultrasonography and diffusion tensor imaging. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1–11. doi: 10.1038/s41598-019-47968-x EDN: ZDKOHT
- 87.** Guerri S, Mercatelli D, Aparisi Gómez MP, et al. Quantitative imaging techniques for the assessment of osteoporosis and sarcopenia. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2018;8(1):60–85. doi: 10.21037/qims.2018.01.05 EDN: YGBWVN
- 88.** Peng YC, Wu CH, Tien YW, et al. Preoperative sarcopenia is associated with poor overall survival in pancreatic cancer patients following pancreaticoduodenectomy. *European Radiology*. 2020;31(4):2472–2481. doi: 10.1007/s00330-020-07294-7 EDN: QEVZUE
- 89.** Ceniccola GD, Castro MG, Piovacari SMF, et al. Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages. *Nutrition*. 2019;62:25–31. doi: 10.1016/j.nut.2018.11.028
- 90.** Tolonen A, Pakarinen T, Sassi A, et al. Methodology, clinical applications, and future directions of body composition analysis using computed tomography (CT) images: A review. *European Journal of Radiology*. 2021;145:109943. doi: 10.1016/j.ejrad.2021.109943 EDN: ZGMEUC
- 91.** Mitsiopoulos N, Baumgartner RN, Heymsfield SB, et al. Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *Journal of Applied Physiology*. 1998;85(1):115–122. doi: 10.1152/jappl.1998.85.1.115
- 92.** Wang FZ, Sun H, Zhou J, et al. Reliability and validity of abdominal skeletal muscle area measurement using magnetic resonance imaging. *Academic Radiology*. 2021;28(12):1692–1698. doi: 10.1016/j.acra.2020.09.013 EDN: ZAJXXO
- 93.** Faron A, Sprinkart AM, Kuetting DLR, et al. Body composition analysis using CT and MRI: intra-individual intermodal comparison of muscle mass and myosteatosis. *Scientific Reports*. 2020;10(1):11756. doi: 10.1038/s41598-020-68797-3 EDN: BBLUJW
- 94.** Almada-Correia I, Neves PM, Mäkitie A, Ravasco P. Body composition evaluation in head and neck cancer patients: a review. *Frontiers in Oncology*. 2019;9:1112. doi: 10.3389/fonc.2019.01112
- 95.** Matsuyama R, Maeda K, Yamanaka Y, et al. Assessing skeletal muscle mass based on the cross-sectional area of muscles at the 12th thoracic vertebra level on computed tomography in patients with oral squamous cell carcinoma. *Oral Oncology*. 2021;113:105126. doi: 10.1016/j.oraloncology.2020.105126 EDN: EZAWPC
- 96.** Troschel AS, Troschel FM, Best TD, et al. Computed tomography-based body composition analysis and its role in lung cancer care. *Journal of Thoracic Imaging*. 2020;35(2):91–100. doi: 10.1097/RTI.0000000000000428 EDN: OCZDGG
- 97.** Amini B, Boyle SP, Boutin RD, Lenchik L. Approaches to assessment of muscle mass and myosteatosis on computed tomography: a systematic review. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2019;74(10):1671–1678. doi: 10.1093/gerona/glz034
- 98.** Boutin RD, Yao L, Canter RJ, Lenchik L. Sarcopenia: current concepts and imaging implications. *American Journal of Roentgenology*. 2015;205(3):W255–W266. doi: 10.2214/AJR.15.14635
- 99.** Clynes MA, Edwards MH, Buehring B, et al. Definitions of sarcopenia: associations with previous falls and fracture in a population sample. *Calcified Tissue International*. 2015;97(5):445–452. doi: 10.1007/s00223-015-0044-z EDN: PWIAFZ
- 100.** Sousa AS, Guerra RS, Fonseca I, et al. Sarcopenia and length of hospital stay. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2015;70(5):595–601. doi: 10.1038/ejcn.2015.207
- 101.** Tyrovolas S, Koyanagi A, Olaya B, et al. The role of muscle mass and body fat on disability among older adults: A cross-national analysis. *Experimental Gerontology*. 2015;69:27–35. doi: 10.1016/j.exger.2015.06.002 EDN: USFYDJ
- 102.** Schaap LA, van Schoor NM, Lips P, Visser M. Associations of sarcopenia definitions, and their components, with the incidence of recurrent falling and fractures: the longitudinal aging study amsterdam. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2017;73(9):1199–1204. doi: 10.1093/gerona/glx245
- 103.** Tang TC, Hwang AC, Liu LK, et al. FNII-defined sarcopenia predicts adverse outcomes among community-dwelling older people in taiwan: results from i-lan longitudinal aging study. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2017;73(6):828–834. doi: 10.1093/gerona/glx148
- 104.** Bianchi L, Abete P, Bellelli G, et al; for the GLISTEN Group Investigators. Prevalence and clinical correlates of sarcopenia, identified according to the EWGSOP definition and diagnostic algorithm, in hospitalized older people: The GLISTEN Study. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2017;72(11):1575–1581. doi: 10.1093/gerona/glw343
- 105.** Kroker A, Zhu Y, Manske SL, et al. Quantitative in vivo assessment of bone microarchitecture in the human knee using HR-pQCT. *Bone*. 2017;97:43–48. doi: 10.1016/j.bone.2016.12.015
- 106.** Erlandson MC, Wong AKO, Szabo E, et al. Muscle and myotendinous tissue properties at the distal tibia as assessed by high-resolution peripheral quantitative computed tomography. *Journal of Clinical Densitometry*. 2017;20(2):226–232. doi: 10.1016/j.jocd.2016.10.005
- 107.** Hildebrand KN, Sidhu K, Gabel L, et al. The Assessment of skeletal muscle and cortical bone by second-generation HR-pQCT at the Tibial Midshaft. *Journal of Clinical Densitometry*. 2021;24(3):465–473. doi: 10.1016/j.jocd.2020.11.001 EDN: TZJABG
- 108.** Chow SKH, van Mourik M, Hung VWY, et al. HR-pQCT for the evaluation of muscle quality and intramuscular fat infiltration in ageing skeletal muscle. *Journal of Personalized Medicine*. 2022;12(6):1016. doi: 10.3390/jpm12061016 EDN: HTRGSW
- 109.** Aparisi Gómez MP, Ayuso Benavent C, Simoni P, et al. Imaging of bone marrow: from science to practice. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2022;26(04):396–411. doi: 10.1055/s-0042-1745803
- 110.** Aparisi Gómez MP, Ayuso Benavent C, Simoni P, et al. Fat and bone: the multiperspective analysis of a close relationship. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2020;10(8):1614–1635. doi: 10.21037/qims.2020.01.11 EDN: FCYWQZ
- 111.** Gloor M, Fasler S, Fischmann A, et al. Quantification of fat infiltration in oculopharyngeal muscular dystrophy: Comparison of three MR imaging methods. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2010;33(1):203–210. doi: 10.1002/jmri.22431
- 112.** Borga M, Ahlgren A, Romu T, et al. Reproducibility and repeatability of MRI-based body composition analysis. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2020;84(6):3146–3156. doi: 10.1002/mrm.28360 EDN: AYEETH
- 113.** Baum T, Cordes C, Dieckmeyer M, et al. MR-based assessment of body fat distribution and characteristics. *European Journal of Radiology*. 2016;85(8):1512–1518. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.02.013
- 114.** Tyagi A, Yeganeh O, Levin Y, et al. Intra- and inter-examination repeatability of magnetic resonance spectroscopy, magnitude-based MRI, and complex-based MRI for estimation of hepatic proton density fat fraction in overweight and obese children and adults. *Abdominal Imaging*. 2015;40(8):3070–3077. doi: 10.1007/s00261-015-0542-5 EDN: MALVVP
- 115.** Eggers H, Börnert P. Chemical shift encoding-based water–fat separation methods. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2014;40(2):251–268. doi: 10.1002/jmri.24568
- 116.** Thomas EL, Fitzpatrick JA, Malik SJ, et al. Whole body fat: Content and distribution. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. 2013;73:56–80. doi: 10.1016/j.pnmrs.2013.04.001 EDN: SQMCPV
- 117.** Shen W, Punyanitya M, Wang ZM, et al. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image. *Journal of Applied Physiology*. 2004;97(6):2333–2338. doi: 10.1152/jappphysiol.00744.2004
- 118.** Shen W, Punyanitya M, Wang ZM, et al. Visceral adipose tissue: relations between single-slice areas and total volume. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;80(2):271–278. doi: 10.1093/ajcn/80.2.271
- 119.** Shen W, Punyanitya M, Chen J, et al. Visceral adipose tissue: relationships between single slice areas at different locations and obesity-related health risks. *International Journal of Obesity*. 2006;31(5):763–769. doi: 10.1038/sj.ijo.0803474
- 120.** 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. *International Journal of Obesity*. 2010;34(4):781–787. doi: 10.1038/ijo.2009.279
- 121.** Hu HH, Chen J, Shen W. Segmentation and quantification of adipose tissue by magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance*

Materials in Physics, Biology and Medicine. 2015;29(2):259–276. doi: 10.1007/s10334-015-0498-z EDN: YSWEE0

122. Schweitzer L, Geisler C, Pourhassan M, et al. What is the best reference site for a single MRI slice to assess whole-body skeletal muscle and adipose tissue volumes in healthy adults? *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015;102(1):58–65. doi: 10.3945/ajcn.115.111203

123. Yip C, Dinkel C, Mahajan A, et al. Imaging body composition in cancer patients: visceral obesity, sarcopenia and sarcopenic obesity may impact on clinical outcome. *Insights into Imaging*. 2015;6(4):489–497. doi: 10.1007/s13244-015-0414-0 EDN: BGDHDG

124. Noumura Y, Kamishima T, Sutherland K, Nishimura H. Visceral adipose tissue area measurement at a single level: can it represent visceral adipose tissue volume? *The British Journal of Radiology*. 2017;90(1077):20170253. doi: 10.1259/bjr.20170253

125. Kuk JL, Church TS, Blair SN, Ross R. Measurement site and the association between visceral and abdominal subcutaneous adipose tissue with metabolic risk in women. *Obesity*. 2010;18(7):1336–1340. doi: 10.1038/oby.2009.414 EDN: NZCTTB

126. Kullberg J, Ahlström H, Johansson L, Frimmel H. Automated and reproducible segmentation of visceral and subcutaneous adipose tissue from abdominal MRI. *International Journal of Obesity*. 2007;31(12):1806–1817. doi: 10.1038/sj.ijo.0803671

127. Fallah F, Machann J, Martirosian P, et al. Comparison of T1-weighted 2D TSE, 3D SPGR, and two-point 3D Dixon MRI for automated segmentation of visceral adipose tissue at 3 Tesla. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*. 2016;30(2):139–151. doi: 10.1007/s10334-016-0588-6 EDN: ZPSMEQ

128. Kirchoff K, Kantartzis K, Machann J, et al. Impact of different fat depots on insulin sensitivity: predominant role of liver fat. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2007;1(5):753–759. doi: 10.1177/193229680700100521

129. West J, Romu T, Thorell S, et al. Precision of MRI-based body composition measurements of postmenopausal women. *PLOS ONE*. 2018;13(2):e0192495. doi: 10.1371/journal.pone.0192495

130. Machann J, Thamer C, Stefan N, et al. Follow-up whole-body assessment of adipose tissue compartments during a lifestyle intervention in a large cohort at increased risk for type 2 diabetes. *Radiology*. 2010;257(2):353–363. doi: 10.1148/radiol.10092284

131. Boettcher M, Machann J, Stefan N, et al. Intermuscular adipose tissue (IMAT): Association with other adipose tissue compartments and insulin sensitivity. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2009;29(6):1340–1345. doi: 10.1002/jmri.21754

132. Prado CMM, Heymsfield SB. Lean tissue imaging. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2014;38(8):940–953. doi: 10.1177/0148607114550189 EDN: UVANLJ

133. Aparisi Gómez MP, Weidekamm C, Aparisi F, Bazzocchi A. Sports and metabolic bone disease. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2020;24(03):277–289. doi: 10.1055/s-0040-1709483 EDN: DKIUHW

134. Macaluso A, Nimmo MA, Foster JE, et al. Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. *Muscle & Nerve*. 2002;25(6):858–863. doi: 10.1002/mus.10113

135. Wang B, Torriani M. Artificial Intelligence in the Evaluation of Body Composition. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*. 2020;24(01):030–037. doi: 10.1055/s-0039-3400267 EDN: GTBGCX

ОБ АВТОРАХ

* **Guglielmi Giuseppe**, профессор;
адрес: 1 Luigi Pinto ave, Foggia, Italy, 71121;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Aparisi Gómez Maria Pilar;
ORCID: 0000-0002-6483-7139;
e-mail: pilar.aparisi@tewhatuora.govt.nz

Petrera Miriana Rosaria;
ORCID: 0000-0002-1275-6265;
e-mail: mirianapetrera@gmail.com

Santoro Aurelia, доцент;
ORCID: 0000-0002-7187-1116;
e-mail: aurelia.santoro@unibo.it

Petroni Maria Letizia, доцент;
ORCID: 0000-0002-7040-6466;
e-mail: marialetizia.petroni@unibo.it

Gasparini Chiara;
ORCID: 0000-0002-5306-0985;
e-mail: chiara.gasparini@unibo.it

Franceschi Claudio, профессор;
ORCID: 0000-0001-9841-6386;
e-mail: claudio.franceschi@unibo.it

Marchesini Giulio, профессор;
ORCID: 0000-0003-2407-9860;
e-mail: giulio.marchesini@unibo.it

Bazzocchi Alberto;
ORCID: 0000-0002-2659-4535;
e-mail: abazzocchi@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Giuseppe Guglielmi**, MD, Professor;
address: 1 Luigi Pinto ave, Foggia, Italy, 71121;
ORCID: 0000-0002-4325-8330;
e-mail: giuseppe.guglielmi@unifg.it

Maria P. Aparisi Gómez, MD;
ORCID: 0000-0002-6483-7139;
e-mail: pilar.aparisi@tewhatuora.govt.nz

Miriana R. Petrera, MD;
ORCID: 0000-0002-1275-6265;
e-mail: mirianapetrera@gmail.com

Aurelia Santoro, MD, PhD, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-7187-1116;
e-mail: aurelia.santoro@unibo.it

Maria L. Petroni, MD, Associate Professor;
ORCID: 0000-0002-7040-6466;
e-mail: marialetizia.petroni@unibo.it

Chiara Gasparini, MD;
ORCID: 0000-0002-5306-0985;
e-mail: chiara.gasparini@unibo.it

Claudio Franceschi, MD, Professor;
ORCID: 0000-0001-9841-6386;
e-mail: claudio.franceschi@unibo.it

Giulio Marchesini, MD, Professor;
ORCID: 0000-0003-2407-9860;
e-mail: giulio.marchesini@unibo.it

Alberto Bazzocchi, MD, PhD;
ORCID: 0000-0002-2659-4535;
e-mail: abazzocchi@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author