

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-2-124-132>

УДК 616.379-008.64+616-056.257-056.22]-053.85:616.74-073.43

Ультразвуковая оценка скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями и у здоровых лиц старше 45 лет

Рамазанова М.П.¹, Шулико Л.М.¹, Фомина С.В.^{1,2}, Самойлова Ю.Г.^{1,2}, Климентенко Н.Л.¹

¹ Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации (СибГМУ Минздрава России), 634050, Российская Федерация, Томск, Московский тракт, 2

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ), 630090, Российская Федерация, Новосибирск, ул. Пирогова, 1

Аннотация

Введение. Метаболические заболевания негативно влияют на структуру и функцию скелетных мышц. Миостеатоз, развивающийся при сахарном диабете 2-го типа и ожирении, рассматривается как один из маркеров саркопении. Среди известных методов визуализации ультразвуковое исследование скелетных мышц является наиболее доступным, безопасным методом, позволяющим проводить их качественную и количественную оценку.

Цель: проанализировать качественные и количественные параметры ультразвукового исследования скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями в сравнении со здоровыми пациентами старше 45 лет.

Материал и методы. В данное исследование всего были включены 68 пациентов (52 женщины, 16 мужчин) в возрасте старше 45 лет. Среди них 52 пациента были с метаболическими заболеваниями, 16 человек контрольной группы – без метаболических заболеваний. Всем пациентам проводилось ультразвуковое исследование скелетных мышц нижних конечностей.

Результаты. Скелетные мышцы у пациентов с метаболическими заболеваниями имели следующие изменения в сравнении с контрольной группой: прямая мышца бедра характеризовалась уменьшением угла перистости, анатомической площади поперечного сечения (ППС), физиологической ППС, объема мышцы. Медиальная головка икроножной мышцы отличалась уменьшением физиологической ППС. Передняя большеберцовая мышца имела более высокие значения эхоинтенсивности в группе метаболических заболеваний ($p < 0,05$). Пациенты с метаболическими заболеваниями имели устойчивые положительные корреляционные связи между параметрами исследуемых мышц и данными антропометрии: ростом и анатомической ППС; индексом массы тела (ИМТ) и жесткостью; отрицательную корреляционную связь между возрастом и анатомической ППС ($p < 0,05$). Контрольная группа характеризовалась положительной корреляционной связью между анатомической ППС и объемом, а также силой захвата; отрицательной корреляционной связью коэффициента жесткости и возраста ($p < 0,05$).

Выводы. Качественные (эхоинтенсивность, шкала Хекматта) и количественные (угол перистости, объем, анатомическая и физиологическая ППС) параметры скелетных мышц, полученные с помощью ультразвукового исследования, позволяют выявить признаки миостеатоза и уменьшение размеров скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями. Таким образом, ультразвуковой метод может применяться в диагностике миостеатоза у пациентов с метаболическими заболеваниями.

Ключевые слова:	сахарный диабет; ожирение; миостеатоз; саркопения; ультразвуковое исследование.
Финансирование:	авторы заявляют об отсутствии финансирования.
Соответствие принципам этики:	исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России, заключение № 10158 от 27.10.2025 г.
Для цитирования:	Рамазанова М.П., Шулико Л.М., Фомина С.В., Самойлова Ю.Г., Климентенко Н.Л. Ультразвуковая оценка скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями и у здоровых лиц старше 45 лет. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2026;41(2):124–132. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-2-124-132

✉ Рамазанова Мария Павловна; e-mail: mprpmz@mail.ru.

© Рамазанова М. П., Шулико Л. М., Фомина С. В., Самойлова Ю. Г., Климентенко Н. Л., 2026

Ultrasound assessment of skeletal muscles in patients with metabolic diseases and in healthy individuals over 45 years of age

Ramazanova M.P.¹, Shuliko L.M.¹, Fomina S.V.^{1,2}, Samoilo Yu.G.^{1,2}, Klimentenko N.L.¹

¹ Siberian State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (SSMU), 2, Moskovsky tract, Tomsk, 634050, Russian Federation

² Novosibirsk National Research State University (NNRSU), 1, Pirogova str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Abstract

Introduction. Metabolic diseases negatively impact the structure and function of skeletal muscle. Myosteatosis developing in type 2 diabetes mellitus and obesity is considered a marker of sarcopenia. Among known imaging methods, skeletal muscle ultrasound is the most accessible and safe method for qualitative and quantitative assessment.

Aim: To assess the qualitative and quantitative parameters of ultrasound examination of skeletal muscles in patients with metabolic diseases and healthy patients over 45 years of age.

Material and Methods. A total of 68 patients (52 women, 16 men) over 45 years of age were included in this study. Among them, 52 patients had metabolic diseases, and 16 controls did not. All patients underwent ultrasound examination of the skeletal muscles of the lower extremities.

Results. Skeletal muscles in patients with metabolic diseases showed the following changes compared to the control group: the rectus femoris was characterized by decreased pennation angle, anatomical cross-sectional area (CSA), physiological CSA, and muscle volume. The medial head of the gastrocnemius was characterized by a decrease in physiological CSA. The tibialis anterior muscle had higher echointensity values in the metabolic disease group ($p < 0.05$). Patients with metabolic diseases showed stable, directly proportional relationships between the parameters of the studied muscles: height and anatomical CSA; body mass index (BMI) and stiffness; and an inversely proportional relationship between age and anatomical CSA ($p < 0.05$). The control group was characterized by a directly proportional relationship between anatomical CSA and grip volume and strength; and an inversely proportional relationship between the stiffness coefficient and age ($p < 0.05$).

Conclusions. Ultrasound examination of skeletal muscles has a wide range of capabilities that allow determining the qualitative and quantitative characteristics of skeletal muscles.

Keywords:	diabetes mellitus; obesity; myosteatosis; sarcopenia; ultrasound examination.
Funding:	the work was carried out without the use of grants or financial support from public; non-profit and commercial organizations.
Compliance with ethical standards:	the study was approved by the Ethics Committee of the SSMU, report No. 10158 dated 27.10.2025.
For citation:	Ramazanova M.P., Shuliko L.M., Fomina S.V., Samoilo Yu.G., Klimentenko N.L. Ultrasound assessment of skeletal muscles in patients with metabolic diseases and in healthy individuals over 45 years of age. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2026;41(2):124–132. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-2-124-132

Введение

Заболееваемость сахарным диабетом 2-го типа и ожирением в течение многих лет демонстрирует неуклонный рост [1, 2]. Инсулинорезистентность, являясь основным звеном патогенеза сахарного диабета 2-го типа и ожирения, приводит к снижению утилизации глюкозы скелетными мышцами и развитию миостеатоза. В настоящее время миостеатоз рассматривается учеными как дополнительный маркер саркопении [3]. Существующие алгоритмы диагностики саркопении остаются несовершенными. Для выявления качественных изменений скелетных мышц необходимо использование современных методов визуализации. Ограниченная доступность, высокая сто-

имость компьютерной и магнитно-резонансной томографии актуализируют применение широкого спектра ультразвуковых методик для оценки параметров скелетных мышц. Стандартное ультразвуковое исследование мышц зачастую проводится с целью исключения опухолевых заболеваний и травматического повреждения. Патоморфологические изменения, характерные для миостеатоза, являются основанием для ультразвукового исследования скелетных мышц в новом аспекте, с подходом к ним как к метаболическому органу и с оценкой дополнительных качественных и количественных параметров.

Эхогенность мышцы является ее качественным показателем. Замещение мышечной ткани жировой приво-

дит к потере мышечной силы, так как жировая ткань не способна к сокращению. Известно, что при миостеатозе и фиброзных изменениях экзогенность мышцы повышается по мере прогрессирования, может появляться эффект дистального ослабления эхосигнала. Для стадирования жировой дегенерации используется шкала Хекматта, которая позволяет выделить 4 стадии данного процесса и широко применяется при различных мышечных заболеваниях [4].

Кроме того, предложены методы количественной оценки эхоинтенсивности скелетных мышц [5]. В научных исследованиях показана отрицательная корреляция между высокой эхоинтенсивностью мышцы, ее толщиной и мышечной силой [6]. Также учеными A.I. Garcia-Diez и соавт. указывается на необходимость использования в качестве дополнительного биомаркера миостеатоза показатель эхоинтенсивности [7]. Однако применимость данного показателя для различных групп мышц не определена.

Другими ключевыми показателями для оценки мышц являются их линейные размеры и площадь поперечного сечения (ППС). Лидирующие позиции среди исследований мышц при саркопении занимают работы, посвященные оценке четырехглавой мышцы бедра [8]. Считается, что именно мышцы нижних конечностей являются наиболее надежными индикаторами саркопении и низкой мышечной массы. В метаанализе, проведенном R. Zhao и соавт., представлена положительная корреляция между толщиной, ППС четырехглавой мышцы бедра и мышечной массой [9]. Тем не менее единые, общепринятые пороговые значения толщины и ППС мышц отсутствуют. В обзоре, представленном J. Van den Broeck и соавт., приведены достаточно разнородные данные пороговых значений толщины, ППС мышц, что связано с различной (продольной или поперечной) методикой измерения, различием возрастных групп и положения конечностей при проведении измерений [10].

Другим параметром, оцениваемым при ультразвуковом исследовании, является угол перистости. Перистые мышцы, имеющие косое относительно траектории сухожилия расположение волокон, генерируют большую силу. Также для перистых мышц характерно различие анатомической и физиологической ППС. В статье S. Giovanni говорится, о том, что физиологическая ППС больше отражает функцию мышцы, чем анатомическая ППС [11].

Развитие новых технологий ультразвукового исследования, в частности появление эластографии сдвиговой волны, позволяет оценить их жесткость. На данный момент среди исследователей отсутствует единое мнение в отношении позиционирования ультразвукового датчика и оптимальной единицы измерения. В исследованиях L. An и соавт. сообщается о снижении скорости сдвиговой волны в медиальной головке икроножной мышцы у пациентов, страдающих сахарным диабетом 2-го типа и саркопенией, в сравнении с пациентами без саркопении [12]. Учеными W. Wei и соавт. выявлено, что больные сахарным диабетом 2-го типа, страдающие саркопенией, имеют меньшую толщину медиальной головки икроножной мышцы, ППС и скорость сдвиговой волны, чем пациенты без саркопении [13]. Тем не менее пороговые значения показателя жесткости для различных групп мышц отсутствуют.

Таким образом, остается много нерешенных вопросов относительно методологии ультразвукового исследова-

ния скелетных мышц, определения методики исследования, установления пороговых значений, выявления диагностических паттернов миостеатоза у пациентов с метаболическими нарушениями. Решение их откроет возможности клинического использования ультразвуковых исследований мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями.

Цель: проанализировать качественные и количественные параметры ультразвукового исследования скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями в сравнении со здоровыми пациентами старше 45 лет.

Материал и методы

Дизайн исследования:

клиническое проспективное, открытое, контролируемое.

Критерии включения:

- Пациенты старше 45 лет, не имеющие диагноза метаболического заболевания.
- Пациенты старше 45 лет, страдающие метаболическими заболеваниями (сахарный диабет 2-го типа и / или ожирение).
- Подписанное информированное согласие, полученное до проведения каких-либо процедур, связанных с исследованием.

Критерии исключения:

- Пациенты, перенесшие в последние 4 нед. перед включением в исследование любое хирургическое вмешательство.
- Клинически значимые хронические, аллергические, острые заболевания сердечно-сосудистой, нервной, мочеполовой систем, желудочно-кишечного тракта и заболевания крови, которые, по мнению исследователя, могут повлиять на изучаемые параметры.
- Пациенты с травматическим повреждением в анамнезе.
- Пациенты с активными заболеваниями печени, включая гепатиты, согласно данным анамнеза.
- Пациенты, злоупотребляющие алкоголем, наркотическими препаратами.
- Больные с активной нефропатией, согласно данным анамнеза.
- Лица с ВИЧ-инфекцией.
- Обследуемые со злокачественными новообразованиями (включая заболевания крови).
- Пациенты с крупными металлическими имплантатами.

В данное исследование всего были включены 68 пациентов в возрасте старше 45 лет (52 женщины, 16 мужчин). Среди них были 52 пациента, страдающие метаболическими заболеваниями (76,5%), контрольная группа включала 16 человек (23,5%) без метаболических заболеваний. Группа пациентов с метаболическими заболеваниями состояла из 40 женщин и 12 мужчин; в контрольную группу вошли 12 женщин и 4 мужчины. В группу пациентов, страдающих метаболическими заболеваниями, были включены пациенты с сахарным диабетом 2-го типа и пациенты с ожирением.

Исследование проведено в 2025 г. в клиниках ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России. Протокол исследования

одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО СибГМУ Минздрава России (заключение № 10158 от 27.10.2025 г.).

Пациентам проведены измерения стандартных антропометрических данных (рост и вес) с дальнейшим вычислением индекса массы тела (ИМТ). Также всем пациентам выполнено измерение силы захвата кисти методом динамометрии, с использованием механического динамометра ДК-50. Данные пациентов двух групп представлены в таблице 1.

Таблица 1. Возрастные, антропометрические данные пациентов, данные динамометрии

Table 1. Age, anthropometric data of patients, dynamometry data

Параметры	Пациенты с метаболическими заболеваниями, $n = 52$	Пациенты контрольной группы, $n = 16$
	Медиана [Q1; Q3]	
Возраст, лет	69 [65; 72]	71 [57; 74,5]
Рост, см	162 [158; 169]	161 [158,5; 166,5]
Вес, кг	86 [76; 92]	62 [58; 71]
ИМТ, кг/см ²	32 [27; 34]	25,7 [23,2; 26,5]
Сила захвата кисти, кг	21 [15; 25]	20 [18; 26]

УЗИ мышц проводилось на приборе Canon Aplio i700 линейным датчиком с частотой 7–14 МГц. Проводилось билатеральное исследование прямой мышцы бедра, передней большеберцовой мышцы, медиальной головки икроножной мышцы, которое включало в себя исследование в В-режиме: измерение толщины, длины, ширины, анатомической ППС, объема, угла перистости, длины волокна, определение экзогенности, количественную оценку эхоинтенсивности; режим эластографии сдвиговой волны: измерение коэффициента жесткости мышцы (рис. 1).

Ультразвуковое исследование проводилось после предварительного отдыха пациента в течение 15 мин.

Исследование прямой мышцы бедра и передней большеберцовой мышцы осуществлялось в положении пациента лежа на спине, с симметрично расположенными конечностями, разогнутыми в тазобедренных и коленных суставах, положение стопы было нейтральным. Анализ медиальной головки икроножной мышцы проводился в прон-позиции пациента при нейтральном положении стопы. Использование гелевой подушки применялось для минимизации давления, датчик был расположен строго перпендикулярно к исследуемой мышце для преодоления эффекта анизотропии. Измерения проводились в средней части мышечного брюшка.

Эхогенность мышцы первично оценивалась относительно эхогенности окружающей подкожной жировой клетчатки и кортикального слоя бедренной или большеберцовой кости и далее ранжировалась согласно шкале Хекматта [4]. Количественное измерение эхоинтенсивности осуществлялось с использованием опции гистограммы.

Измерение толщины, ширины и ППС проводилось в поперечном сечении мышцы. Измерение длины, угла перистости, длины волокна выполнялось при продольном расположении датчика в продольной плоскости сечения мышцы. Измерение длины мышцы осуществлялось с целью дальнейшего расчета объема мышечного брюшка и заключалось в измерении мышечного брюшка от

проксимального до дистального мышечно-сухожильного перехода, без включения длины сухожилий. Расчет объема мышцы проводился с использованием стандартной формулы эллипсоида: произведение толщины, ширины, длины мышцы, коэффициент 0,52. Измерение длины волокна осуществлялось от поверхностного до глубокого листка фасции. Угол перистости измерялся относительно длинника мышцы и оси сухожилия. Для расчета физиологической ППС применялась формула Р. МакН. Александера и А. Вернона¹. Жесткость мышцы оценивалась с помощью опции эластографии сдвиговой волной при ориентации датчика поперечно исследуемой мышце, на уровне середины мышечного брюшка; используемая единица измерения – кПа. Проводилось 12 последовательных измерений жесткости с дальнейшим определением медианы значений.

Статистический анализ был выполнен с помощью программного обеспечения STATISTICA, версия 13.3 (Statsoft (Tibco), США). Описание качественных данных проводили с вычислением абсолютных и относительных частот, сравнение качественных данных – с применением критерия χ^2 . Для описания количественных данных использованы медиана и квартили. Для сравнения двух независимых групп применен непараметрический критерий Манна – Уитни. Оценка корреляционной взаимозависимости между количественными показателями проведена с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

При первичном обзорном исследовании прямой мышцы бедра, передней большеберцовой мышцы, медиальной головки икроножной мышцы признаков травматического повреждения, посттравматических изменений, опухолевых образований выявлено не было.

На первом этапе было проведено сравнение ультразвуковых параметров исследуемых мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями и в контрольной группе (табл. 2). Прямая мышца бедра у пациентов с метаболическими заболеваниями характеризовалась уменьшением угла перистости, анатомической ППС, физиологической ППС, объема. Передняя большеберцовая мышца имела более высокие значения эхоинтенсивности в группе пациентов с метаболическими заболеваниями. Медиальная головка икроножной мышцы демонстрировала уменьшение физиологической ППС у пациентов с метаболическими нарушениями ($p < 0,05$).

При анализе частоты изменения скелетных мышц в исследуемых группах у пациентов с метаболическими заболеваниями преобладала категория «все», включающая одновременно изменения всех исследуемых мышц (рис. 2А). В контрольной группе преобладала категория «норма», изменения структуры мышц отсутствовали (рис. 2Б).

При анализе качественных изменений исследуемых мышц, ранжированных по шкале Хекматта, у пациентов с метаболическими заболеваниями установлено наибольшее количество изменений передней большеберцовой мышцы с преобладанием 2-й степени (рис. 3). У пациентов контрольной группы зарегистрированы изменения передней большеберцовой мышцы в виде жировой дегенерации 2-й степени.

¹ Alexander R.McN., Vernon A. The dimension of knee and ankle muscles and the forces they exert. Journal of Human Movement Studies. 1975;1:115–123..

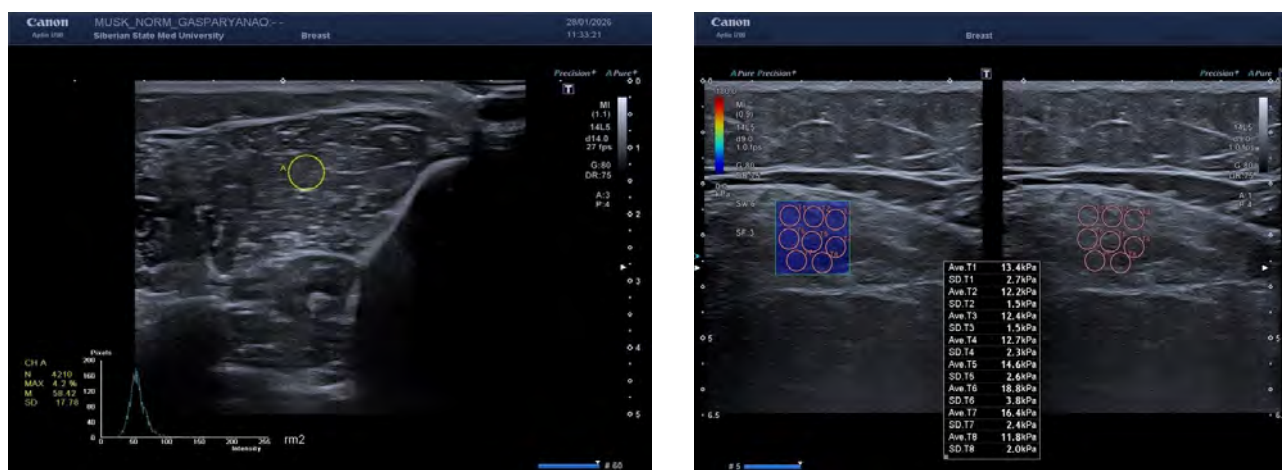


Рис. 1. А – количественное измерение эхоинтенсивности прямой мышцы бедра, опция «Histogram», Б – эластография сдвиговой волной прямой мышцы бедра

Fig. 1. А – quantitative measurement of echo intensity of the rectus femoris muscle, “Histogram” option; Б – shear wave elastography of the rectus femoris muscle.

Таблица 2. Ультразвуковые характеристики прямой мышцы бедра, передней большеберцовой, медиальной головки икроножной мышцы у пациентов с метаболическими заболеваниями и у пациентов контрольной группы

Table 2. Ultrasound characteristics of the rectus femoris, tibialis anterior, and medial head of the gastrocnemius muscles in patients with metabolic diseases and in patients in the control group

Параметры	Пациенты с метаболическими заболеваниями, Me [Q1; Q3]		Пациенты контрольной группы, Me [Q1; Q3]		p-value	
	D	S	D	S	D	S
Прямая мышца бедра						
Угол перистости, град.	13 [11; 15]	13 [12; 15]	15,5 [13; 19,5]	15 [14; 17]	0,02	0,02
Длина волокна, мм	61 [56; 68]	62 [56; 67]	61,5 [52; 68]	58 [49; 66,5]	0,86	0,49
Толщина, мм	16,7 [14,6; 18,9]	16,6 [14; 18,8]	17,7 [16; 21,3]	18,2 [16; 21,1]	0,07	0,07
Анатомическая ППС, см ²	6,45 [5,56; 8,02]	6,33 [5,42; 8]	7,75 [6,8; 9,8]	7,4 [6,7; 9,76]	0,03	0,03
Физиологическая ППС, см ²	18,85 [15,06; 23,7]	18,17 [15; 23]	24 [19; 27,7]	24,1 [19,7; 30]	0,04	0,01
Объем, см ³	114,96 [91,9; 141,8]	106,1 [93; 142]	127 [117; 197]	135 [117; 184]	0,048	0,03
Эхоинтенсивность	56,4 [45,2; 65,1]	58,04 [39,7; 67]	54,9 [50,9; 58]	55 [52,5; 58,1]	0,9	0,87
Жесткость, кПа	10,4 [8,5; 12,2]	10,85 [9,1; 12,8]	10,05 [7,1; 13,4]	11,2 [7,9; 12,7]	0,44	0,78
Передняя большеберцовая мышца						
Угол перистости, град.	13 [11; 16]	13 [12; 15]	15,5 [12; 17,5]	14 [12,5; 17]	0,42	0,35
Длина волокна, мм	60 [55; 66]	61 [55; 66]	58,5 [57; 62]	58,5 [53; 63]	0,43	0,21
Толщина, мм	22,6 [21; 26]	23,9 [21; 25,6]	23,85 [22; 25,5]	22,9 [20; 24,6]	0,63	0,41
Анатомическая ППС, см ²	6,53 [5; 8,53]	7,1 [5,4; 8,7]	6,58 [5,8; 7,3]	6,68 [5,7; 7,4]	0,8	0,44
Физиологическая ППС, см ²	11,76 [9,74; 15,2]	12,55 [10; 15,4]	11,9 [10; 13,5]	11,9 [9,9; 13,7]	0,87	0,35
Объем, см ³	67,07 [57,3; 88,7]	76,9 [60; 99]	68,04 [61; 81]	66,83 [52; 84]	0,9	0,24
Эхоинтенсивность	69,37 [55,7; 79,5]	64,89 [53; 75]	57,63 [53,4; 66]	61,59 [57; 69,3]	0,03	0,74
Жесткость, кПа	6,3 [4,45; 11,4]	6,7 [4,3; 10]	6,7 [4,25; 8,6]	7,05 [4,5; 9,7]	0,52	0,98
Медиальная головка икроножной мышцы						
Угол перистости, град.	27 [22; 29]	25 [22; 29]	28,5 [26; 33]	29 [25; 31]	0,08	0,1
Длина волокна, мм	37 [33; 43]	40,3 [33; 45]	35 [33; 41,5]	34,5 [32,5; 39]	0,65	0,16
Толщина, мм	16,2 [15; 18,8]	16,8 [15; 18,8]	17 [15; 20,2]	18,2 [15; 20,6]	0,78	0,39
Анатомическая ППС, см ²	9,5 [8,2; 11,4]	9,62 [8,4; 11,3]	9,9 [8,8; 11,2]	9,88 [8; 12,2]	0,6	0,89
Физиологическая ППС, см ²	25,8 [23,7; 31,8]	26,58 [24; 30]	27,6 [24; 37]	30,2 [27; 35]	0,42	0,048
Объем, см ³	102,5 [81; 122,9]	103,7 [86; 116]	101,3 [83; 130]	112,3 [87; 129]	0,81	0,39
Эхоинтенсивность	54,8 [45,7; 62,3]	55,67 [46,1; 67]	50,87 [45; 59]	52,64 [44; 59]	0,58	0,25
Жесткость, кПа	7,4 [5,5; 10,6]	8,5 [5,4; 12,1]	7,75 [5,25; 9,6]	5,65 [3,9; 9,2]	0,59	0,16

Следующим этапом исследования был анализ корреляционных связей ультразвуковых характеристик исследуемых мышц с антропометрическими данными пациентов и данными динамометрии. У пациентов с метаболическими заболеваниями имелись устойчивые положительные корреляции параметров исследуемых мышц с анатомическими данными: анатомической ППС

и роста; коэффициента жесткости и ИМТ; отрицательные корреляции анатомической ППС с возрастом ($p < 0,05$). В контрольной группе наблюдались положительные корреляции анатомической ППС с объемом и силой захвата; отрицательные корреляции – между коэффициентом жесткости и возрастом ($p < 0,05$).

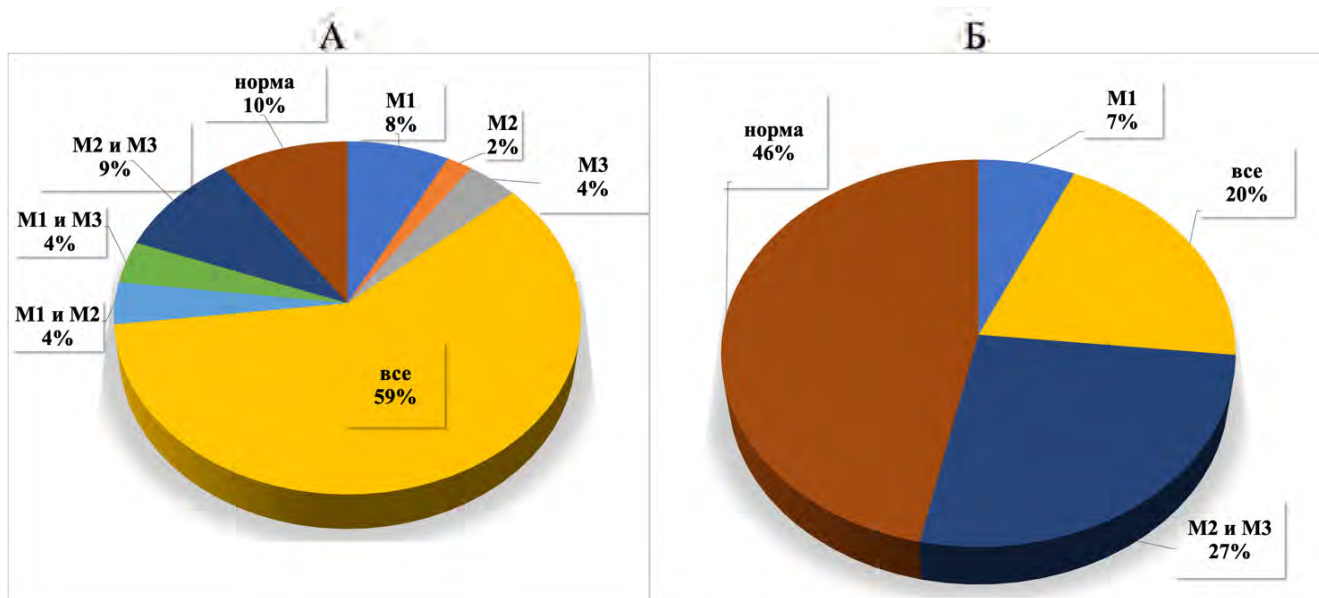


Рис. 2. Распределение частоты изменения скелетных мышц. А – пациенты с метаболическими заболеваниями, Б – пациенты контрольной группы
Примечание: M1 – прямая мышца бедра; M2 – передняя большеберцовая мышца; M3 – медиальная головка икроножной мышцы; все – изменение всех трех мышц; норма – отсутствие изменений всех трех мышц.

Fig. 2. Distribution of the frequency of changes in skeletal muscles: А – patients with metabolic diseases, Б – patients of control group

Note: M1 – Rectus femoris; M2 – Tibialis anterior; M3 – Medial head of gastrocnemius; all – changes in all three muscles; normal – absence of changes in all three muscles.

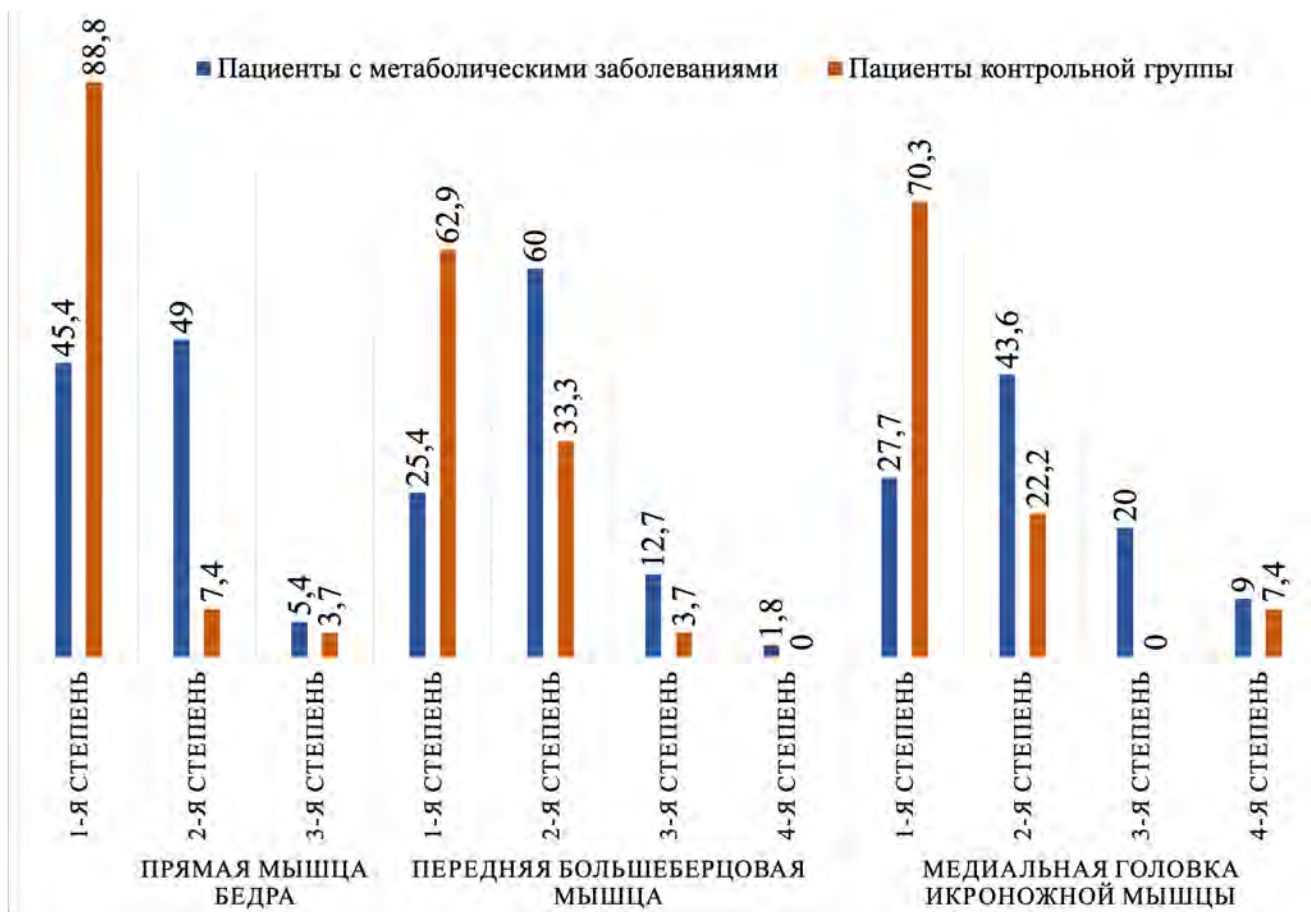


Рис. 3. Распределение частоты изменений прямой мышцы бедра, передней большеберцовой мышцы, медиальной головки икроножной мышцы в соответствии со шкалой Хекматта

Примечание: 1-я степень, 2-я степень, 3-я степень, 4-я степень – степени изменения мышц по шкале Хекматта.

Fig. 3. Distribution of the frequency of changes in the rectus femoris, tibialis anterior, and medial head of the gastrocnemius muscles according to the Heckmatt scale.

Note: 1-я степень, 2-я степень, 3-я степень, 4-я степень – degrees of muscle changes according to the Heckmatt scale.

Наибольшее количество статистически значимых корреляционных связей ультразвуковых характеристик и антропометрических данных пациентов выявлено для прямой мышцы бедра (табл. 3) и передней большеберцовой мышцы.

Дополнительно в группе пациентов с метаболическими заболеваниями при корреляционном анализе взаимосвязей антропометрических данных пациентов и характеристик прямой мышцы бедра положительная корреляционная связь установлена между ростом и такими параметрами, как физиологическая ППС мышцы, ее объем. Также положительно коррелированы с весом пациента длина мышечного волокна ($r = 0,38$) и его жесткость ($r = 0,55-0,58$). Величина ИМТ отрицательно коррелирована с физиологической ППС прямой мышцы бедра ($r = -0,4$), а толщина, анатомическая, физиологическая ППС, объем мышц были положительно коррелированы с силой захвата кисти ($r = 0,34-0,51$). Отрицательная корреляционная связь наблюдалась между возрастом и анатомической ($r = -0,33$), физиологической ППС ($r = -0,29$), объемом прямой мышцы бедра ($r = -0,34$).

В контрольной группе толщина, объем мышцы были положительно коррелированы с ростом ($r = 0,7-0,8$); длина волокна, анатомическая ППС, объем – с силой захвата кисти ($r = 0,69-0,94$). Отрицательная корреляционная связь наблюдалась между возрастом и анатомической ППС ($r = -0,58$).

Таким образом, у пациентов с метаболическими заболеваниями при комплексном анализе преобладают изменения прямой мышцы бедра, включающие уменьшение угла перистости, анатомической, физиологической ППС, объема. Изменения качественных характеристик мышцы в виде повышения эхоинтенсивности и степени Хекматта преобладали по передней большеберцовой мышце.

Уменьшение угла перистости сопровождалось снижением силы захвата кисти, увеличением веса и ИМТ. ППС (анатомическая и физиологическая) и объем прямой мышцы бедра уменьшались с возрастом и снижением силы захвата.

Нежелательные явления

Нежелательные явления в ходе исследования не возникали. Все пациенты прошли полный курс исследования, выбывших не было.

Обсуждение

Результаты проведенного исследования и информация, полученная из литературных источников, подтверждают предположение о развитии миостеатоза у пациентов с метаболическими заболеваниями [14–17]. Жировая инфильтрация мышц приводит к их функциональному дефициту. В более ранних исследованиях установлено, что данный патологический процесс сопровождается повышением эхогенности мышцы [18]. В нашем исследовании у пациентов, страдающих метаболическими заболеваниями, при распределении частоты изменений эхогенности мышц также наблюдалось преобладание 2-й степени повышения эхогенности по шкале Хекматта. Кроме того, для данной группы пациентов были характерны более высокие значения медианы эхоинтенсивности передней большеберцовой мышцы.

Несмотря на диагностическую ценность определения эхогенности, нельзя не учитывать факт субъективности данной оценки, а также высокой зависимости от настроек ультразвукового прибора. Поэтому мы считаем необходимым применение мультипараметрического ультразвукового исследования мышц. Количественные параметры мышц, полученные при ультразвуковом исследовании,

Таблица 3. Корреляционные взаимосвязи ультразвуковых параметров прямой мышцы бедра у пациентов с метаболическими заболеваниями и контрольной группы

Table 3. Correlations between ultrasound parameters of the rectus femoris muscle in patients with metabolic diseases and the control group

Параметры	Пациенты с метаболическими заболеваниями									
	Возраст, лет		Рост, см		Вес, кг		ИМТ, кг/см ²		Сила захвата кисти, кг	
	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S
Угол перистости, град.	-0,23	-0,16	0,33	0,31	-0,19	-0,4*	-0,27	-0,4*	0,25	0,41*
Длина волокна, мм	-0,09	-0,05	0,14	0,09	0,38*	0,33	0,27	0,28	-0,03	0,032
Толщина, мм	-0,19	-0,18	0,29	0,34	-0,03	0,13	-0,22	-0,04	0,36*	0,34*
Анатомическая ППС, см ²	-0,33*	-0,3*	0,47*	0,39*	0,01	0,09	-0,22	-0,17	0,51*	0,42*
Физиологическая ППС, см ²	-0,29*	-0,29*	0,38*	0,38*	-0,22	-0,19	-0,4*	-0,4*	0,42*	0,41*
Объем, см ³	-0,34*	-0,32*	0,39*	0,37*	-0,02	0,01	-0,26	-0,23	0,43*	0,44*
Эхоинтенсивность	0,29	0,21	-0,03	-0,05	0,079	-0,01	-0,23	-0,20	0,01	-0,01
Жесткость, кПа	-0,11	0,03	0,01	0,03	0,58*	0,55*	0,49*	0,4*	-0,28	-0,14
Параметры	Пациенты контрольной группы									
	Возраст, лет		Рост, см		Вес, кг		ИМТ, кг/см ²		Сила захвата кисти, кг	
	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S
Угол перистости, град.	-0,27	-0,22	-0,06	0,31	-0,01	-0,07	0,16	0,1	-0,01	0,05
Длина волокна, мм	-0,19	-0,16	0,53	0,52	0,37	0,38	0,21	0,18	0,72*	0,69*
Толщина, мм	-0,41	-0,29	0,7*	0,52	-0,61	0,38	0,09	0,02	0,51	0,66
Анатомическая ППС, см ²	-0,47	-0,58*	0,67	0,68	0,52	0,39	0,22	0,1	0,87*	0,94*
Физиологическая ППС, см ²	-0,48	-0,42	0,69	0,55	0,44	0,22	-0,01	-0,01	0,36	0,49
Объем, см ³	-0,57*	-0,49	0,8*	0,7*	0,63	0,61	0,24	0,12	0,79*	0,77*
Эхоинтенсивность	-0,27	-0,21	0,24	0,07	0,03	0,07	-0,14	-0,15	-0,16	-0,41
Жесткость, кПа	-0,62*	-0,52*	0,67	0,8*	0,59	0,68	0,4	0,36	-0,01	-0,15

Примечание: * – жирным шрифтом выделены статистически значимые корреляционные взаимосвязи.

дают представление об их архитектонике. Угол перистости принято считать параметром, отражающим силовой потенциал мышцы [11]. Данные литературы, как и результаты собственного исследования (положительная корреляционная зависимость угла перистости прямой мышцы бедра и передней большеберцовой мышцы с данными динамометрии), демонстрируют возможность использования значения угла перистости в качестве ультразвукового критерия снижения мышечной силы [19]. Ученые В. Yurmez и соавт. на основании собственного исследования рекомендовали использовать значение угла перистости, равное $10,65^\circ$ в качестве скринингового показателя мышечной слабости с умеренно-высокой чувствительностью (AUC 0,692; $p < 0,001$) [19]. В нашем исследовании медиана угла перистости у пациентов с метаболическими заболеваниями была равна 13° . По мере старения объем и анатомическая ППС исследуемых мышц уменьшались как у здоровых лиц, так и у пациентов, страдающих метаболическими заболеваниями, что может отражать процесс возрастной потери мышечной массы в обеих группах. Однако характерные для пациентов с метаболическими заболеваниями более низкие значения медианы данных параметров прямой мышцы бедра позволяют предположить более быстрый и патологический характер прогрессирования саркопении в данной группе. Y.L. Chen и соавт. выявили роль показателей анатомической ППС и объема прямой мышцы бедра для прогнозирования саркопении (AUC 0,83 и 0,81; $p < 0,001$) [18]. Эти данные согласуются с результатами нашего исследования: уменьшение анатомической ППС и объема прямой мышцы бедра в обеих группах сопровождалось снижением силы захвата.

Физиологическая ППС связана со свойством перистых мышц генерировать большую силу и косвенно отражает мышечную функцию. Мы получили более низкие значения физиологической ППС у пациентов с метаболическими заболеваниями, что также коррелировало со снижением мышечной силы.

При этом мы не получили клинически значимой информации, статистически значимых межгрупповых различий относительно коэффициента жесткости исследуемых мышц, что указывает на необходимость исследования с большим числом выборки. Мы считаем, что положительная корреляция коэффициента жесткости с ИМТ и весом в группе пациентов с метаболическими заболеваниями может быть связана с глубиной его измерения и требует проверки в ходе дальнейших исследований.

Таким образом, параметры, определяемые при ультразвуковом исследовании, характеризуют не только структурные, но и функциональные свойства мышц.

Выводы

Ультразвуковое исследование скелетных мышц у пациентов с метаболическими заболеваниями позволяет получить ценную диагностическую информацию: определить наличие признаков миостеатоза (увеличение эхоинтенсивности, степени жировой дегенерации по шкале Хекматта), уменьшение количественных показателей, к которым относятся угол перистости, объем, анатомическая и физиологическая ППС. Данные изменения отражают не только структурные, но и функциональные характеристики мышц, что подтверждается данными корреляционного анализа с силой захвата кисти.

Литература / References

1. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. и др. Эпидемиология и ключевые клинико-терапевтические показатели сахарного диабета в Российской Федерации в разрезе стратегических целей Всемирной организации здравоохранения. *Сахарный диабет*. 2025;28(1):4–17. <https://doi.org/10.14341/DM13292>. EDN: UQHMTС
2. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K. et al. Epidemiology and key clinical and therapeutic indicators of diabetes mellitus in Russian Federation according to the World Health Organization's strategy goals. *Diabetes mellitus*. 2025;28(1):4–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.14341/DM13292>. EDN: UQHMTС
3. Мартинчик А.Н., Батурич А.К., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Ожирение в Российской Федерации: эпидемиология, социально-демографические и нутрициологические факторы развития. *Гигиена и санитария*. 2024;103(12):1504–1513. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1504-1513>. EDN: <https://elibrary.ru/eftzhc>
4. Martinchik A.N., Baturin A.K., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Obesity in the Russian Federation: epidemiology, socio-demographic and nutritional factors for development. *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(12):1504–1513. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1504-1513>. EDN: <https://elibrary.ru/eftzhc>
5. Garcia-Diez A.I., Porta-Vilaro M., Isern-Kebschull J. et al. Myosteosis: diagnostic significance and assessment by imaging approaches. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2024;14(11):7937–7957. <https://doi.org/10.21037/qims-24-365>
6. Wijnjtes J., Saris C., Doorduyn J. et al. Improving Heckmatt muscle ultrasound grading scale through Rasch analysis. *Neuromuscul. Disord.* 2024;42:14–21. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2024.07.001>
7. Piponnier E., Ishikawa M., Kunimasa Y. et al. Quantification of Extramyocellular Lipids and Intramuscular Fat from Muscle Echo Intensity in Lower Limb Muscles: A Comparison of Four Ultrasound Devices against Magnetic Resonance Spectroscopy. *Sensors (Basel)*. 2023;23(11):5282. <https://doi.org/10.3390/s23115282>
8. Akima H., Yoshiko A., Ogawa M. et al. Quadriceps echo intensity can be an index of muscle size regardless of age in 65 or more years old. *Exp. Gerontol.* 2020;138:111015. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111015>
9. Garcia-Diez A.I., Porta-Vilaro M., Isern-Kebschull J. et al., Myosteosis: diagnostic significance and assessment by imaging approaches. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2024;14(11):7937–7957. <https://doi.org/10.21037/qims-24-365>. EDN: GVBOIE
10. Casey P., Alasmar M., McLaughlin J. et al. The current use of ultrasound to measure skeletal muscle and its ability to predict clinical outcomes: a systematic review. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022;13(5):2298–2309. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13041>
11. Zhao R., Li X., Jiang Y. et al. Evaluation of Appendicular Muscle Mass in Sarcopenia in Older Adults Using Ultrasonography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gerontology*. 2022;68(10):1174–1198. <https://doi.org/10.1159/000525758>
12. Van den Broeck J., Héreus S., Cattrysse E. et al. Ultrasound cut-off values for muscle thickness, cross-sectional area, and echo intensity in Caucasian adults: a narrative review. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025;15(4):3665–3686. <https://doi.org/10.21037/qims-24-2122>
13. Giovannini S., Brau F., Forino R. et al. Sarcopenia: Diagnosis and Management, State of the Art and Contribution of Ultrasound. *J. Clin. Med.* 2021;10(23):5552. <https://doi.org/10.3390/jcm10235552>
14. An L., Shi J., Pan Y. et al. The role of shear wave elastography in diagnosing sarcopenia in patients with type 2 diabetes. *J. Endocrinol. Invest.* 2025;48(9):2177–2185. <https://doi.org/10.1007/s40618-025-02623-3>
15. Wei W., Xie C., Cao R. et al. Ultrasound Assessment of the Gastrocnemius Muscle as a Potential Tool for Identifying Sarcopenia in Patients with Type 2 Diabetes. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2023;16:3435–3444. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S435517>. EDN: TXMTIQ
16. de Oliveira L.B., de Oliveira E. Silva V., Jucá Í.C.L. et al. Myosteosis and Type 2 Diabetes Mellitus. *Acta Medica (Hradec Kralove)*. 2025;68(2):37–44. <https://doi.org/10.14712/18059694.2025.17>. EDN: NWWOKY
17. Самойлова Ю.Г., Матвеева М.В., Хорошуннова Е.А. и др. Прогностическая диагностика факторов риска развития саркопении у пожилых пациентов с сахарным диабетом 2 типа. *Архивъ внутренней медицины*. 2024;14(1):52–62. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2024-14-1-52-62>. EDN: NUXXHW
18. Samoilova Yu.G., Matveeva M.V., Khoroshunova E.A. et al. Predictive Diagnostics of Risk Factors for the Development of Sarcopenia in Early Patients with Type 2 Diabetes. *The Russian Archives of Internal Medicine*. 2024;14(1):52–62. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2024-14-1-52-62>. EDN: NUXXHW
19. Самойлова Ю.Г., Хорошуннова Е.А., Матвеева М.В. и др. Моду-

- ляция окислительного стресса как ранний признак саркопении при сахарном диабете 2-го типа. *Профилактическая медицина*. 2024;27(10):108–116. <https://doi.org/10.17116/profmed202427101108>. EDN: AYJQAO
- Samoilova Iu.G., Khoroshunova E.A., Matveeva M.V. et al. Modulation of oxidative stress as an early symptom of sarcopenia in type 2 diabetes mellitus. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2024;27(10):108–116. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed202427101108>. EDN: AYJQAO
17. Correa-de-Araujo R., Addison O., Miljkovic I. et al. Myosteatosis in the Context of Skeletal Muscle Function Deficit: An Interdisciplinary Workshop at the National Institute on Aging. *Front. Physiol.* 2020;11:963. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00963>
18. Chen Y.L., Liu P.T., Chiang H.K. et al. Ultrasound Measurement of Rectus Femoris Muscle Parameters for Discriminating Sarcopenia in Community-Dwelling Adults. *J. Ultrasound Med.* 2022;41(9):2269–2277. <https://doi.org/10.1002/jum.15913>. EDN: KBRKOS
19. Yurumez B., Metin Y., Atmis V. et al. A new possible marker: can pennation angle defined by ultrasound predict the frailty? *Aging Clin. Exp. Res.* 2024;36(1):53. <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02663-w>. EDN: PLYFWS

Информация о вкладе авторов

Рамазанова М.П., Фомина С.В. – написание статьи, сбор данных, анализ и интерпретация данных, оформление рукописи; Самойлова Ю.Г. – разработка концепции и дизайна публикации, проверка интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации. Шулико Л.М., Климентенко Н.Л. – сбор данных, поиск литературы, проверка интеллектуального содержания.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Рамазанова Мария Павловна, врач ультразвуковой диагностики, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: mprnz@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0005-4009-2346>.

Шулико Людмила Михайловна, ассистент, кафедра педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: ludmila.shuliko.15@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-5299-2097>.

Фомина Светлана Викторовна, канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением – врач ультразвуковой диагностики, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия; врач ультразвуковой диагностики, медицинский центр «Университетский», НГУ, Новосибирск, Россия, e-mail: statfom@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

Самойлова Юлия Геннадьевна, д-р мед. наук, профессор, директор института медицины и медицинских технологий, НГУ, Новосибирск, Россия; профессор кафедры педиатрии с курсом эндокринологии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: samoilova_y@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>.

Климентенко Надежда Леонидовна, ассистент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, СибГМУ Минздрава России, Томск, Россия, e-mail: Klnadin@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0000-7275-3093>.

Поступила 06.02.2026;
рецензия получена 10.02.2026;
принята к публикации 01.04.2026.

Information on author contributions

Ramazanova M.P., Fomina S.V. – article writing, data collection, data analysis and interpretation, manuscript preparation; Samoilova Iu.G. – article concept and design, verification of intellectual content, final approval of the manuscript; Shuliko L.M. – data collection, literature search, intellectual content check.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors

Maria P. Ramazanova, Doctor of Ultrasound Diagnostics, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: mprnz@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0005-4009-2346>.

Lyudmila M. Shuliko, Assistant, Department of Pediatrics with the course of Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: ludmila.shuliko.15@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-5299-2097>.

Svetlana V. Fomina, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, Doctor of Ultrasound Diagnostics, SSMU, Tomsk, Russia; Doctor of Ultrasound Diagnostics Medicine and Medical Technologies, Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russia, e-mail: statfom@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-7517-3393>.

Yuliia G. Samoilova, Dr. Sci. (Med.), Professor, Director of the Institute of Medicine and Medical Technologies, NSRU, Novosibirsk, Russia; Department of Pediatrics with a Course in Endocrinology, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: samoilova_y@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2667-4842>.

Nadezhda L. Klimentenko, Assistant, Department of Radiation Diagnostics and Radiation Therapy, SSMU, Tomsk, Russia, e-mail: Klnadin@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0000-7275-3093>.

Received 06.02.2026;
review received 10.02.2026;
accepted for publication 01.04.2026.