

ВОЗМОЖНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ В ДИАГНОСТИКЕ САРКОПЕНИИ

А.А. Фёдорова^{1,2*}, С.А. Вешнева¹¹ ФГБУ «Клинический санаторий «Барвиха» Управления делами Президента РФ, Москва² ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ, Москва

POTENTIALS OF ULTRASOUND DIAGNOSTICS IN PATIENTS WITH SARCOPENIA

A.A. Fedorova^{1,2*}, S.A. Veshneva¹¹ Medical Rehabilitation Center "Barvika" of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia² Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

*E-mail: dr.fedorova.anna@gmail.com

Аннотация

Актуальность своевременного выявления саркопении продиктована прогрессирующим старением населения и увеличением средней продолжительности жизни. На сегодняшний день разработано большое количество тестов и методов инструментальной оценки этого состояния. Выбор методов диагностики напрямую зависит от состояния пациента, его мобильности, наличия соответствующего оборудования и конкретной цели оценки – скрининг или динамическое наблюдение. В обзоре литературы представлены возможности ультразвуковых методов исследования мышц для диагностики саркопении. Приведены критерии оценки мышечной массы и структуры мышц при помощи методов ультразвукового исследования. Определение диагностических подходов к раннему выявлению саркопении представляется актуальной задачей превентивной и восстановительной медицины.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, эластография, саркопения, превентивная медицина.

Abstract

The relevance of timely detection of sarcopenia is dictated by the progressive aging of the population and increased average life expectancy. Currently, there is a large number of tests and techniques for instrumental diagnostics of this disease. The choice of diagnostic tools directly depends on patient's condition, his/her mobility, availability of appropriate equipment, and the diagnostic purpose – screening or dynamic observation. The present literature review describes potentials of ultrasound muscle examination for diagnosing sarcopenia. Criteria for assessing muscle mass and muscle structure using ultrasound methods are presented. Defining diagnostic approaches to early detection of sarcopenia is an urgent task of preventive and restorative medicine.

Keywords: ultrasound, elastography, sarcopenia, preventive medicine.

Ссылка для цитирования: Фёдорова А.А., Вешнева С.А. Возможности ультразвуковых методов в диагностике саркопении. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2026; 2: 85–89.

Введение

В последние десятилетия в современной медицине особое внимание уделяется активному долголетию, увеличению продолжительности и повышению качества жизни населения, а также разработке программ реабилитации и восстановительного лечения возрастных пациентов. Известно, что у лиц пожилого и старческого возраста, а также долгожителей, помимо высокой частоты встречаемости коморбидной патологии, происходят сопутствующие возрастные изменения со стороны мышечной ткани, которые неизбежно сопровождают естественные процессы старения. Одной из актуальных задач превентивной медицины является профилактика и предупреждение прогрессирования саркопении.

Саркопения – это генерализованное заболевание скелетных мышц, которое характеризуется прогрессирующей потерей массы и силы скелетных мышц. В настоящее время саркопения рассматривается не только как гериатрическая проблема. Снижение мышечной массы может наблюдаться как у лиц пожилого и старческого возраста (после 60–75 лет), так и у лиц молодого и среднего возраста, не имеющих сопутствующей коморбидной патологии. Согласно данным литературы, первые признаки саркопении появляются в среднем возрасте (19–45 лет), что связано с атрофией мышечных волокон II типа, снижением уровня

анаболических гормонов и синтеза белка, влиянием различных факторов окружающей среды. Потеря мышечной массы после 30 лет может составлять около 1% в год, при этом безжировая масса тела остается относительно стабильной до 40 лет: после 40 лет происходит непрерывное постепенное снижение мышечной массы тела. Распространенность саркопении колеблется в пределах от 7.5 до 29% среди лиц в возрасте 65 лет и старше, составляя порядка 50% среди лиц старше 80 лет [1].

Особую группу составляют пациенты как молодого и среднего, так и пожилого и старческого возрастов после выписки из стационаров; имеющих длительные острые или хронические заболевания, в том числе онкологические; при длительной иммобилизации, а также больные, находящиеся в критических состояниях. Так, ультразвуковое исследование (УЗИ) мышц у пациентов, длительно находящихся в отделении реанимации, показывает, что изменения структуры и толщины мышц происходят уже через одну неделю нахождения в стационаре [2].

В ряде случаев развитие саркопении связано с гиподинамией, снижением физической активности и недостаточностью питания у лиц различных возрастных групп. Таким образом, проблема саркопении является мультидисциплинарной и столкнуться с ней могут не только геронтологи, но и врачи различных клинических специальностей, что обуславливает актуальность и необходимость

поиска рациональных и наиболее эффективных методов не только профилактики, лечения и реабилитации, но и своевременной диагностики этого состояния.

Для диагностики саркопении традиционно применяются различные шкалы и опросники, оценка антропометрических данных, динамометрия и лучевые методы диагностики. Применение шкал, опросников и динамометрии может быть ограничено у пациентов с различными когнитивными нарушениями, травмами в анамнезе, а также у пациентов отделений реанимаций. При первичном осмотре пациента нормальная или даже более высокая мышечная масса в верхней части тела, нежели в нижней, может привести к недооценке саркопении, не всегда позволяя провести раннюю и точную диагностику этого состояния, в том числе при выполнении различных антропометрических измерений. Необходимо также отметить, что возрастная потеря мышечной массы не всегда приводит к снижению индекса массы тела. Так, саркопеническое ожирение может скрыть уменьшение мышечной массы, так как вес тела увеличится, но при этом объем мышечной массы может быть уменьшен. В таких случаях клиническая визуальная оценка мышечной массы и использование антропометрических методов оценки также могут быть затруднены ввиду избыточного развития подкожно-жировой клетчатки или при наличии отека синдрома [1].

Лучевые методы исследования мышечной ткани: биоимпедансометрия, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, компьютерная и магнитно-резонансная томография сопряжены с получением лучевой нагрузки, имеют ряд абсолютных и относительных противопоказаний, являются дорогостоящими, времязатратными и трудоемкими в выполнении. Например, проведение этих исследований может быть ограничено у пациентов с неконтролируемыми двигательными нарушениями, психомоторным возбуждением, клаустрофобией, эпилепсией, наличием искусственных водителей ритма сердца. Кроме того, доступность их выполнения в условиях некоторых лечебных учреждений, в частности санаторно-курортного профиля, ограничена.

УЗИ мышц представляется наиболее оптимальным методом оценки состояния мышц, позволяющим не только провести прогностическую стратификацию пациентов с саркопенией, выделить группы пациентов, имеющих повышенный риск развития саркопении или ее начальные проявления, но и без дополнительной лучевой нагрузки выполнять многократные исследования в динамике на фоне нутритивной поддержки, реабилитационных мероприятий. Согласно анализу данных литературы, УЗИ можно использовать для качественной и количественной оценки мышц, выявления мышечной атрофии и снижения мышечной массы с использованием оценки следующих параметров: толщина мышц, объем мышц, площадь поперечного сечения мышц, степень экзогенности мышц (по шкале Heckmatt, количественный анализ градиентов оттенков серого), угол перистости и длина мышечного пучка, жесткость (плотность) мышц (при использовании методик эластографии), потенциал сокращения мышц и микроциркуляция [3–7].

В обзоре S. Perikis и соавт. SARCUS (2021) показано, что существуют различные подходы к ультразвуковой оценке 39 мышц [8]. Измерение и ультразвуковая оценка всех предлагаемых для исследования мышц у одного пациента представляются невозможными ввиду больших временных затрат на выполнение самого исследования, а также слишком большого количества измеряемых параметров и их последующего анализа. Помимо этого, оценка ультразвуковых параметров может оказаться невозможной в некоторых мышцах, особенно слабых, ввиду выраженной их истощенности у пациентов и при наличии кахексии. Согласно метаанализу, проведенному H. Fu и соавт. (2023), для диагностики

саркопении наиболее часто измерению подлежат икроножная мышца, прямая и четырехглавая мышцы бедра [9].

Толщина отдельных мышц или групп мышц коррелирует с общей мышечной массой. Таким образом, для оценки саркопении следует рассматривать наиболее значимые скелетные мышцы. На ранних стадиях развития саркопении в первую очередь возникает потеря мышечной массы в нижней части тела как у лиц мужского, так и женского пола [10]. Передние мышцы бедра и живота более подвержены влиянию старения, тогда как мышцы верхних конечностей затрагиваются в меньшей степени [11]. Благодаря своему поверхностному расположению и локализации четырехглавая мышца бедра (а именно наиболее длинная из всех головок – прямая мышца бедра), а также прямая мышца живота представляются наиболее доступными и удобными для ультразвуковой визуализации. Недавно общество физической и реабилитационной медицины (ISarcoPRM) приняло измерение толщины четырехглавой мышцы в качестве диагностического критерия для оценки низкой мышечной массы у пациентов с саркопенией [12]. Было рекомендовано корректировать толщину мышц, полученную при ультразвуковом исследовании передних мышц бедра, с индексом массы тела для диагностики саркопении. Так, M. Kara и соавт. (2020) предложили рассчитывать коэффициент коррекции путем деления толщины передней мышцы бедра на индекс массы тела и определили пороговые значения коэффициента коррекции: 1.4 для мужчин и 1.0 для женщин [13].

Ультразвуковая оценка толщины четырехглавой мышцы показала хорошую воспроизводимость при выполнении измерений несколькими исследователями. Так, согласно данным E. Pardo и соавт. (2018), коэффициент корреляции составляет 0.76 при выполнении измерений толщины мышцы на уровне средней трети бедра и 0.81 при выполнении измерений на уровне 2/3 длины между передней верхней остью подвздошной кости и верхним краем надколенника [2].

Показатели толщины мышц, наряду с объемом различных мышц, весьма вариабельны и не стандартизированы ввиду отсутствия масштабных рандомизированных исследований в различных популяциях. Толщина и объем мышц, измеренные при выполнении УЗИ, могут зависеть от положения ультразвукового датчика и оказания компрессии датчиком на поверхность кожи, а также от выбранного уровня сканирования, положения пациента во время исследования и состояния гидратации пациента [1, 14]. Различия в толщине мышц у конкретного пациента могут определяться различными факторами, такими как возраст, пол, вес и рост, индивидуальные конституционные различия, уровень физической активности, питание и т.д.

Несколькими исследовательскими группами были предприняты попытки представить нормативные значения толщины мышц нижних конечностей. M.A. Minetto и соавт. (2016) установили, что нормативные значения толщины мышц для прямой мышцы бедра составляют 20 мм у мужчин и 16 мм у женщин, латеральной широкой мышцы бедра – 17 мм у мужчин и 15 мм у женщин, медиальной икроножной мышцы – 13 мм у мужчин и женщин [15]. G.S. Aycicek и соавт. (2021) предоставили нормативные значения толщины икроножной мышцы для вероятного выявления саркопении у гериатрических амбулаторных пациентов. Пороговым значением было определено значение 12.3 мм как у женщин, так и у мужчин [16]. В недавнем исследовании Y. Ozturk и соавт. (2022) было продемонстрировано, что толщина икроножной мышцы, прямой мышцы бедра и прямой мышцы живота, а также площадь поперечного сечения прямой мышцы бедра подходят для точного прогнозирования саркопении. Предложенные пороговые значения составили для женщин/мужчин: 13.9/13.8 мм для икроножной мышцы, 13.0/15.5 мм для прямой мышцы бедра, 6.6/7.0 мм для

прямой мышцы живота и $4.3/5.2 \text{ см}^2$ для площади поперечного сечения прямой мышцы бедра [17].

Исследование, проведенное А.М. Ата и соавт. (2019) у 145 здоровых людей (мужчин – 45) в возрасте от 18 до 83 лет, продемонстрировало, что мышцы живота и бедер были тоньше у лиц в возрастной группе старше 50 лет, тогда как трехглавая мышца у них, напротив, была толще, чем у молодых (возраст < 50 лет) [18].

Замещение неизменной мышечной ткани жировой и фиброзной при саркопении на ультразвуковых изображениях проявляется в увеличении эхогенности мышц [19]. При УЗИ в мышце появляются участки тканей с разным акустическим сопротивлением, сильно отражающим ультразвуковые лучи, в результате чего мышцы становятся более гиперэхогенными.

Для оценки эхогенности мышц используют несколько методов: 1) визуальный сравнительный метод, основанный на оценке эхогенности по отношению к другим окружающим мышцы структурам, таким как подкожно-жировая клетчатка (в норме имеющая аналогичную мышцам эхогенность) [20]; 2) полуколичественный метод, основанный на визуальной шкале, разработанной J.Z. Neckmatt и соавт. в 1982 г. [21]. Градация степеней эхогенности подразумевает IV степени: I – нормальная эхогенность; II – повышенная интенсивность эхо-сигнала от мышц с отчетливой визуализацией поверхности кости; III – выраженное усиление эхо-сигнала от мышц со сниженной визуализацией поверхности кости; IV – сильно выраженное усиление эхо-сигнала от мышц и полная потеря визуализации поверхности кости [21].

Третий доступный метод оценки эхогенности – количественный анализ градаций оттенков серого (средней интенсивности эхо-сигнала). Этот анализ может быть выполнен с помощью стандартной функции гистограммы, а эхогенность мышцы может быть определена количественно: выбирается интересующая область в мышце и при помощи функции построения гистограммы происходит автоматическое определение среднего уровня оттенков серого от 0 до 255 (шкала черного = 0; белого = 255) в заданной области. При корректном выполнении этот метод является наиболее чувствительным в определении эхогенности мышц, несложным и быстрым в применении, более объективным по сравнению с визуальными методами: его результаты менее зависимы от исследователя. Ограничением метода является отсутствие стандартизированных референсных значений, получаемых на различных ультразвуковых аппаратах [22].

При интерпретации ультразвуковых изображений следует помнить, что эхогенность мышц может повышаться вследствие возрастных изменений и при гипотрофии мышц; отличаться у мужчин, женщин и детей; отличаться в различных мышцах: например, поверхностно лежащая часть мышцы будет выглядеть на ультразвуковых изображениях более гиперэхогенной, нежели глуболежащая ее часть. Различия в пропорции фиброзной ткани и ориентации мышечных волокон придают каждой мышце специфический вид на ультразвуковых изображениях, то есть каждой мышце соответствует свой собственный нормальный диапазон интенсивности эхо-сигнала. Например, нормальная передняя большеберцовая мышца в норме более гиперэхогенна, нежели прямая мышца бедра [1].

Динамическое ультразвуковое исследование мышц позволяет в режиме реального времени визуализировать сокращения мышц или спонтанную активность, такую как фасцикуляции, что малоприменимо для диагностики саркопении. Допплеровское исследование помогает оценить васкуляризацию мышц [7], при этом следует учитывать, что кровоток в расслабленных мышцах в норме не определяется. Для оценки состояния мышц также используются методики измерения длины пучка мышц и угла пенетрации. Диагностическая ценность данных методик

представлена в единичных научных работах. Так, М.Е. Курумсу и соавт. (2016) отметили, что измерение длины пучка икроножной мышцы имело умеренную диагностическую точность для диагностики саркопении: правая голень: чувствительность – 76.9%, специфичность – 71%; левая голень: чувствительность – 76.9%, специфичность – 81% [23].

В последние годы для оценки структурных изменений мышц стали использовать такие ультразвуковые методики, как компрессионная эластография (ЭГ) и ЭГ сдвиговой волны, позволяющие произвести оценку как качественных, так и количественных показателей плотности мышц. При выполнении компрессионной эластографии необходимо оказание легкого компрессионного воздействия на ткани. Более твердые ткани характеризуются низкой сжимаемостью и деформацией, в отличие от мягких тканей с повышенной сжимаемостью и деформацией [24].

Результаты компрессионной ЭГ оценивают визуально по цветовой шкале, где зеленым цветом отображаются мягкие, эластичные ткани, синим цветом – твердые и плотные [25]. В качестве референсной ткани используют ткань подкожно-жировой клетчатки. Подкожно-жировая клетчатка при компрессионной ЭГ окрашивается зеленым и красным цветами на эластограмме, соответствующим высокоэластичным тканям. Для оценки данных, полученных при компрессионной ЭГ мышц, N.S. Berko и соавт. (2014) была предложена классификация типов эластограмм (у детей). При I типе основная площадь мышцы окрашивалась сигналами красного цвета, при II типе 75% площади мышцы – сигналами зеленого цвета и 25% сигналами красного цвета, при III типе основная часть площади мышцы окрашивалась сигналами зеленого цвета, при IV типе 75% площади мышцы окрашивалась сигналами зеленого цвета и 25% сигналами синего цвета, при V типе основная часть площади мышцы окрашивалась сигналами синего цвета [26]. Классификацию типов эластограмм мышц, разработанную для пациентов других возрастных групп, в обозреваемых источниках литературы найти не удалось.

Методика ЭГ сдвиговой волны позволяет путем генерации и анализа сдвиговых волн количественно измерить плотность мышечной ткани. Получение эластографического изображения при ЭГ сдвиговой волны базируется на вибрационном воздействии на ткани при помощи внешних источников без необходимости оказания компрессии датчиком при выполнении исследования. В связи с этим методика характеризуется большей воспроизводимостью, меньшей зависимостью получаемых результатов от практического опыта исследователя, а также возможностью получения не только качественных, но и количественных показателей плотности мышц по сравнению с компрессионной эластографией [27]. При выполнении ЭГ сдвиговой волны показатели плотности мышц фиксируются в м/с либо в кПа с последующим вычислением среднего значения. В исследовании А.М. Alfuraih и соавт. (2019) сообщалось, что общая скорость сдвиговой волны в мышце в состоянии покоя медленно снижается с возрастом, но статистически значимое снижение отмечается только у пожилых людей. Жесткость мышц в группе пожилых людей была на 16.5% ниже, чем в группе молодых людей, что позволяет предположить, что жесткость мышц, измеренная с помощью ЭГ сдвиговой волны, может быть связана с мышечной слабостью [28].

Рядом исследователей предпринимались попытки представить рекомендации по стандартизации метода ЭГ для получения оптимальных данных. На вариабельность результатов жесткости скелетных мышц при выполнении ЭГ могут влиять многочисленные факторы: использование различных единиц измерения (м/с и кПа), глубины установки окна опроса, выбранные частотные характеристики датчиков, степень оказываемой компрессии. Имеются сообщения о том, что жесткость мышц бедра у левшей

и правой, а также жесткость мышц верхних и нижних конечностей может отличаться. В работе А.М. Alfuraih и соавт. (2017) было показано, что достоверность измерений жесткости оказалась выше для поверхностно расположенных мышц по сравнению с более глуболежащими мышцами [29]. Стоит также отметить, что в диагностических системах различных фирм-производителей применяются различные технологии ЭГ (например, ARFI, 2D SWE, транзистентная эластография), некоторые из которых позволяют получать результат в различных единицах измерения – м/с и кПа, не являющихся идентичными, что также может влиять на вариабельность получаемых значений.

Упоминание о референсных значениях плотности мышц при выполнении ЭГ сдвиговой волны встретилось нами в единичных работах. А.М. Alfuraih и соавт. (2017) исследовали 20 добровольцев, у которых определяли жесткость четырех различных мышц: латеральной широкой мышцы бедра (среднее значение жесткости – 1.76 м/с), двуглавой мышцы бедра (среднее значение жесткости – 1.54 м/с), двуглавой мышцы плеча (среднее значение жесткости – 1.76 м/с) и мышцы, отводящей мизинец (среднее значение жесткости – 2.55 м/с). Исследования проводили на аппарате LOGIQ E9 при помощи линейного датчика с частотой от 9 до 5 МГц. Значения жесткости различались между всеми мышцами ($p < 0.001$), за исключением латеральной широкой мышцы бедра и двуглавой мышцы плеча. Самая большая разница была между мышцей, отводящей мизинец, и двуглавой мышцей бедра [29].

Согласно данным В.М. Делягина (2015), у мужчин величина плотности мышечной ткани в норме колеблется в пределах 2.79–2.91 м/с, у женщин – 1.73–2.56 м/с, у детей – 1.74–1.78 м/с. При физической нагрузке и сгибании исследуемой конечности показатель плотности мышц может достигать 6.57–7.53 м/с, что необходимо учитывать при исследовании у пациентов с повышенной спастичностью мышц, сгибательными контрактурами [30]. Однако в исследовании не было указано, на каком диагностическом оборудовании выполняли измерения и какой была когорта исследования. А.А. Емельянец и соавт. (2022) при исследовании 41 пациента контрольной группы пациентов без повреждения мышц (аппарат LOGIQ E9) представили медиану значений и межквартильный размах для скорости боковой волны $V = 2.03 [1.72; 2.64]$ м/с [31].

Н.А. Гаранкиным и соавт. (2023) были проанализированы данные средних значений скорости сдвиговой волны четырехглавой мышцы бедра у 82 добровольцев разных возрастных групп, полученные при помощи двух ультразвуковых аппаратов. Первая группа состояла из 40 лиц мужского (14 (35%)) и женского (26 (65%)) пола в возрасте от 18 до 32 лет (средний возраст – 25.0 года). Вторая группа включала 42 исследуемых: лица мужского (19 (45.2%)) и женского (23 (54.8%)) пола в возрасте от 39 до 97 лет (средний возраст – 70.3 года). Среднее значение скорости сдвиговой волны на обоих аппаратах составило 2.38 и 2.48 м/с соответственно. Значения скорости сдвиговой волны на обоих ультразвуковых сканерах продемонстрировали достаточную степень однородности и ожидаемые корреляционные связи с полом, возрастом и толщиной мышечной ткани [32].

До сих пор не существует единой точки зрения относительно значений нормы показателей жесткости мышечной ткани по данным ЭГ, что не дает возможности однозначно оценивать клиническую значимость этих методик при оценке изменений структуры мышц при различных патологиях. Можно заключить, что работы, посвященные применению различных методов ультразвуковой визуализации в диагностике саркопении, на сегодняшний день достаточно широко представлены в литературе, однако характеризуются малым числом наблюдений, вариабельностью показателей, отсутствием стандартизированной методики измерений.

Заключение

Увеличение средней продолжительности жизни и рост числа долгожителей в современном обществе диктуют необходимость разработки превентивных программ диагностики и восстановительного лечения состояний, связанных с процессами старения организма, в частности саркопении. Развитие саркопении ассоциируется с повышенной вероятностью осложнений и неблагоприятных исходов различных заболеваний, наступления физической неспособности, снижения качества и продолжительности жизни, особенно у лиц пожилого и старческого возраста.

Таким образом, первостепенное значение для своевременного выявления саркопении и саркопенического ожирения, профилактики и раннего начала лечения приобретают методы диагностики, поиск и разработка которых являются важной задачей медицины активного долголетия. Весьма перспективным является применение метода ультразвуковой диагностики, позволяющего в режиме реального времени быстро и точно измерить толщину мышц и оценить их структуру для последующей стратификации пациентов с саркопенией с определением не только качественных, но и количественных показателей. Немаловажными достоинствами метода являются мобильность ультразвуковой аппаратуры, отсутствие лучевой нагрузки, что делает возможным выполнение УЗИ практически в любых условиях и дает возможность многократных повторений исследований для оценки динамики изменения мышц. При этом, согласно данным литературы, метод УЗИ не уступает по своей точности компьютерной и магнитно-резонансной томографии, на сегодняшний день считающихся золотым стандартом оценки безжировой массы тела. Относительная простота выполнения и высокая воспроизводимость результатов измерений дают возможность использовать УЗИ мышц в рутинной практике в качестве универсального инструмента для оценки потери мышечной массы, а также для первичного скрининга саркопении.

На сегодняшний день отсутствуют надежные диагностические критерии саркопении при ультразвуковой визуализации. Разработка оптимального и, что немаловажно, комплексного алгоритма УЗИ мышечной ткани для диагностики саркопении, с учетом использования параметров и критериев оценки толщины, объема и структуры мышцы, приведенных в настоящем обзоре данных отечественной и зарубежной литературы, а также диагностических возможностей современных методик оценки плотности мышечной ткани – методик ультразвуковой эластографии, является актуальной задачей и перспективной темой для дальнейших научных исследований.

Литература

1. Миопатии в практике клинициста: руководство для врачей / под ред. И.Н. Пасечника, С.А. Бернс, В.В. Бояринцева. – Москва: ГЭОТАР-Медиа. – 2023. – С. 133–167, 252–257. [Myopathies in the practice of a clinician: a guide for doctors / Edited by I.N. Pasechnik, S.A. Berns, V.V. Boyarintsev. – Moscow: GEOTAR-Media. – 2023. – P. 133–167, 252–255. In Russian]. DOI: 10.33029/9704-7648-2-MPK-2023-1-448.
2. Pardo E. et al. Reliability of ultrasound measurements of quadriceps muscle thickness in critically ill patients // BMC Anesthesiology. – 2018. – V. 18. – P. 1–8. DOI: 10.1186/s12871-018-0647-9.
3. Stringer H.J. et al. The role of ultrasound as a diagnostic tool for sarcopenia // The Journal of Frailty & Aging. – 2018. – V. 7. – P. 258–261. DOI: 10.14283/jfa.2018.24.
4. Hansen J.S. et al. Assessment of sarcopenia by ultrasound. A feasibility study in acutely admitted danish geriatric

- inpatients // *European Journal of Geriatrics and Gerontology*. – 2023. – V. 5. – No. 3. – P. 196–202. DOI: 10.4274/ejgg.galenos.2023.2022-9-4.
5. Perkisas S. et al. Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: towards standardized measurements // *European Geriatric Medicine*. – 2018. – V. 9. – P. 739–757. DOI: 10.1007/s41999-018-0104-9.
 6. Li S. et al. Ultrasound for measuring the cross-sectional area of biceps brachii muscle in sarcopenia // *International Journal of Medical Sciences*. – 2020. – V. 17. – No. 18. – P. 2947. DOI: 10.7150/ijms.49637.
 7. Prell T. et al. Uncovering sarcopenia and frailty in older adults by using muscle ultrasound – a narrative review // *Frontiers in Medicine*. – 2024. – V. 11. – P. 1333205. DOI: 10.3389/fmed.2024.1333205.
 8. Perkisas S. et al. Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: 2020 SARCUS update // *European Geriatric Medicine*. – 2021. – V. 12. – P. 45–59. DOI: 10.1007/s41999-020-00433-9.
 9. Fu H. et al. Diagnostic test accuracy of ultrasound for sarcopenia diagnosis: a systematic review and meta-analysis // *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. – 2023. – V. 14. – No. 1. – P. 57–70. DOI: 10.1002/jcsm.13149.
 10. Abe T. et al. Age-related site-specific muscle loss in the thigh and zigzag walking performance in older men and women // *Acta Physiologica Hungarica*. – 2014. – V. 101. – No. 4. – P. 488–495. DOI: 10.1556/APhysiol.101.2014.006.
 11. Mitchell W.K. et al. Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review // *Frontiers in Physiology*. – 2012. – V. 3. – P. 260. DOI: 10.3389/fphys.2012.00260.
 12. Murat K. et al. Diagnosing sarcopenia: Functional perspectives and a new algorithm from ISarcoPRM // *Journal of Rehabilitation Medicine*. – 2021. – V. 53. – No. 6. – P. 2806. DOI: 10.2340/16501977-2851.
 13. Kara M. et al. STAR – sonographic thigh adjustment ratio: a golden formula for the diagnosis of sarcopenia // *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. – 2020. – V. 99. – No. 10. – P. 902–908. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001439.
 14. Perkisas S. et al. Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: towards standardized measurements // *European Geriatric Medicine*. – 2018. – V. 9. – P. 739–757. DOI: 10.1007/s41999-018-0104-9.
 15. Minetto M.A. et al. Ultrasound-based detection of low muscle mass for diagnosis of sarcopenia in older adults // *Pm&R*. – 2016. – V. 8. – No. 5. – P. 453–462. DOI: 10.1016/j.pmrj.2015.09.014.
 16. Sengul Aycicek G. et al. Ultrasonography versus bioelectrical impedance analysis: which predicts muscle strength better? // *Acta Clinica Belgica*. – 2021. – V. 76. – No. 3. – P. 204–208. DOI: 10.1080/17843286.2019.1704989.
 17. Ozturk Y. et al. The role of muscle ultrasound to predict sarcopenia // *Nutrition*. – 2022. – V. 101. – P. 111692. DOI: 10.1016/j.nut.2022.111692.
 18. Ata A.M. et al. Regional and total muscle mass, muscle strength and physical performance: The potential use of ultrasound imaging for sarcopenia // *Archives of Gerontology and Geriatrics*. – 2019. – V. 83. – P. 55–60. DOI: 10.1016/j.archger.2019.03.014.
 19. Heckmatt J.Z. et al. Detection of pathological change in dystrophic muscle with B-scan ultrasound imaging // *The Lancet*. – 1980. – V. 315. – No. 8183. – P. 1389–1390. DOI: 10.1016/s0140-6736(80)92656-2.
 20. Albayda J. et al. Diagnostic value of muscle ultrasound for myopathies and myositis // *Current rheumatology reports*. – 2020. – V. 22. – P. 1–10. DOI: 10.1007/s11926-020-00947-y.
 21. Heckmatt J.Z. et al. Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease // *The Journal of Pediatrics*. – 1982. – V. 101. – No. 5. – P. 656–660. DOI: 10.1016/s0022-3476(82)80286-2.
 22. Pillen S. Skeletal muscle ultrasound // *European Journal Translational Myology*. – 2010. – V. 4. – No. 1. – P. 145–155. DOI: 10.4081/ejtm.2010.1812.
 23. Kuyumcu M.E. et al. Ultrasonographic evaluation of the calf muscle mass and architecture in elderly patients with and without sarcopenia // *Archives of Gerontology and Geriatrics*. – 2016. – V. 65. – P. 218–224. DOI: 10.1016/j.archger.2016.04.004.
 24. Brandenburg J.E. et al. Ultrasound elastography: the new frontier in direct measurement of muscle stiffness // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. – 2014. – V. 95. – No. 11. – P. 2207–2219. DOI: 10.1016/j.apmr.2014.07.007.
 25. Зубарев А.В. и др. Эластография-новый метод поиска рака различных локализаций // *Радиология-практика*. – 2008. – № 6. – С. 6–18. [Zubarev A.V. et al. Elastography – a new method for searching for cancer of various localizations // *Radiology-practice*. – 2008. – No. 6. – P. 6–18. In Russian].
 26. Berko N.S. et al. Ultrasound elastography in children: establishing the normal range of muscle elasticity // *Pediatric Radiology*. – 2014. – V. 44. – P. 158–163. DOI: 10.1007/s00247-013-2793-z.
 27. Arda K. et al. Quantitative assessment of normal soft-tissue elasticity using shear-wave ultrasound elastography // *American Journal of Roentgenology*. – 2011. – V. 197. – No. 3. – P. 532–536. DOI: 10.2214/AJR.10.5449.
 28. Alfuraih A.M. et al. The effect of ageing on shear wave elastography muscle stiffness in adults // *Aging clinical and experimental research*. – 2019. – V. 31. – P. 1755–1763. DOI: 10.1007/s40520-019-01139-0.
 29. Alfuraih A.M. et al. The effect of unit, depth, and probe load on the reliability of muscle shear wave elastography: Variables affecting reliability of SWE // *Journal of Clinical Ultrasound*. – 2018. – V. 46. – No. 2. – P. 108–115. DOI: 10.1002/jcu.22534.
 30. Делягин В.М. Ультразвуковое исследование мышц в норме и при нейромышечной патологии // *SonoAce Ultrasound*. – 2015. – № 27. – С. 68. [Delyagin V.M. Ultrasound examination of muscles in normal and neuromuscular pathology // *SonoAce Ultrasound*. – 2015. – No. 27. – P. 68. In Russian].
 31. Емельянцева А.А. и др. Эластография сдвиговой волны в диагностике рабдомиолиза // *Известия Российской Военно-медицинской академии*. – 2022. – Т. 41. – № 1. – С. 23–30. [Emelyantseva A.A. et al. Shear wave elastography in the diagnosis of rhabdomyolysis // *Proceedings of the Russian Military Medical Academy*. – 2022. – V. 41. – No. 1. – P. 23–30. In Russian]. DOI: 10.17816/rmmar104383.
 32. Гаранкин Н.А. и др. Эластография сдвиговой волны в оценке структуры четырехглавой мышцы бедра в норме // *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. – 2023. – № 1. – С. 15–19. [Garankin N.A. et al. Shear-wave elastography in the evaluation of 4-head femoral muscle structure in the normal state // *Kremlin medicine. Clinical Journal*. – 2023. – No. 1. – P. 15–19. In Russian]. DOI: 10.48612/cgma/bn55-ru8k-ehxa.