

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Саркопения: современные подходы к решению диагностических задач

А.К. Сморгочкова, А.В. Петрайкин, Д.С. Семёнов, Д.Е. Шарова

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Саркопения является относительно новым диагнозом для медицинской статистики и системы здравоохранения, и тем не менее представляет социальное и экономическое бремя для системы здравоохранения из-за большого количества возможных неблагоприятных исходов, таких как повышение риска падений, физическая инвалидизация, увеличение времени пребывания в стационаре и увеличение смертности.

Несмотря на то, что узкоспециализированного медикаментозного лечения для саркопении не существует, профилактика и своевременное немедикаментозное лечение помогут снизить риск потенциальных неблагоприятных последствий.

Для установки диагноза саркопении необходимо подтверждение снижения не только мышечной силы, но и мышечной массы. Инструментальная диагностика включает в себя такие методы, как двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия и биоимпедансометрия. Дополнением к этим методам могут быть алгоритмы искусственного интеллекта для автоматической сегментации мышечной и жировой ткани на компьютерно-томографических и магнитно-резонансных изображениях с последующим расчётом скелетно-мышечного индекса на уровне L3 позвонка. Такое программное обеспечение при его использовании в структурах, подобных Единому радиологическому информационному сервису Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы, открывает возможности для оппортунистического скрининга. Тем не менее общепризнанных количественных значений L3 скелетно-мышечного индекса для компьютерно-томографической и магнитно-резонансной диагностики саркопении пока не существует, несмотря на признание данных методик золотым стандартом Европейской рабочей группой по саркопении у пожилых людей. В дополнение к этому существует проблема унификации термина «скелетно-мышечный индекс».

При решении указанных проблем с помощью дальнейших популяционных исследований станет возможным получение новой методики инструментальной диагностики саркопении с последующим её применением для скрининга данного патологического состояния.

Ключевые слова: саркопения; старческая астения; искусственный интеллект; оппортунистический скрининг.

Как цитировать

Сморгочкова А.К., Петрайкин А.В., Семёнов Д.С., Шарова Д.Е. Саркопения: современные подходы к решению диагностических задач // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 3. С. 196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Sarcopenia: modern approaches to solving diagnosis problems

Anastasia K. Smorchkova, Alexey V. Petraikin, Dmitry S. Semenov, Daria E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Although sarcopenia is a relatively new diagnosis for medical statistics and the healthcare system, it represents a social and economic burden on the healthcare due to the large number of possible adverse outcomes such as increased risk of falls, physical disability, longer hospital stays, and increased mortality. No specialized medical treatment is available for sarcopenia; however, prevention and timely nonpharmacological treatment can reduce the risk of potential adverse effects. To establish the diagnosis of sarcopenia, it is necessary to confirm the decrease in not only muscle strength but also muscle mass. Instrumental diagnostics includes methods such as dual-energy X-ray absorptiometry and bioimpedance analysis. These methods can be supplemented by artificial intelligence algorithms for the automatic segmentation of muscle and fat tissue on computed tomography and magnetic resonance images, followed by calculation of the skeletal muscle index at the level of the L3 vertebra (L3SMI). Such software, when used in systems such as the Unified Radiological Information Service of the Unified Medical Information and Analytical System of Moscow, opens up opportunities for opportunistic screening. However, despite the recognition of CT and MRI as the “gold standard” by the European Working Group on Sarcopenia in Older People, there are no generally accepted L3SMI cut-off values for CT and MR diagnostics of sarcopenia. Furthermore, there is the problem of unifying the term “skeletal muscle index.” If these problems could be solved through further population studies, it will be possible to obtain a new method for the instrumental diagnosis of sarcopenia with its subsequent use for opportunistic screening.

Keywords: sarcopenia; frailty; artificial intelligence; mass screening.

To cite this article

Smorchkova AK, Petraikin AV, Semenov DS, Sharova DE. Sarcopenia: modern approaches to solving diagnosis problems. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

Received: 31.08.2022

Accepted: 19.09.2022

Published: 27.09.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

肌肉减少症：解决诊断问题的现代方法。

Anastasia K. Smorchkova, Alexey V. Petraikin, Dmitry S. Semenov, Daria E. Sharova

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

概要

肌肉减少症是医学统计和医疗保健系统的一个相对较新的诊断。然而，由于大量可能的不良后果，例如跌倒风险增加、残疾、住院时间延长和死亡率增加，它对医疗体系造成了社会和经济负担。虽然肌肉减少症没有高度专业化的药物治疗，但预防和及时的非药物治疗可以降低潜在不良反应的风险。诊断肌肉减少症不仅需要确认肌力下降，还需要确认肌肉质量下降。仪器诊断包括双能X光吸收测量（DXA）和生物阻抗测定法（BIA）等方法。这些方法可以辅以人工智能（AI）算法，用于在计算机断层扫描和磁共振图像上自动分割肌肉和脂肪组织，然后计算L3椎骨水平的肌肉骨骼指数。此类软件在莫斯科市统一医疗信息和分析系统（ERIS EMIAS）统一放射信息服务等系统中使用时，为机会性筛查提供了机会。然而，尽管欧洲老年人肌肉减少症工作组将CT和MRI技术认定为“金标准”，但仍然没有公认的用于诊断肌肉减少症的CT和MR定量L3介质值。除此之外，还有统一术语“肌肉骨骼指数”的问题。如果这些问题通过进一步的人群研究得到解决，将有可能获得一种用于肌肉减少症的仪器诊断的新方法，并随后将其用于筛查这种疾病。

关键词：肌肉减少症；老年虚弱；人工智能；机会性筛查。

To cite this article

Smorchkova AK, Petraikin AV, Semenov DS, Sharova DE. 肌肉减少症：解决诊断问题的现代方法。 *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):196–211. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD110721>

收到: 31.08.2022

接受: 19.09.2022

发布日期: 27.09.2022

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всё больше внимания уделяется системным заболеваниям и состояниям, связанным с общим изменением состава тела человека, в том числе вследствие старения населения. Одной из таких нозологий является саркопения (sarcopenia, от греч. *sarx* — *мышцы, плоть*, *penia* — *нехватка*). Это заболевание входит в синдром старческой астении, или «хрупкости» (Frailty-синдром).

Первое рабочее определение саркопии было опубликовано в 2010 г.; код саркопии, определённый в 2016 г. для МКБ-10, сохраняется в МКБ-11. Таким образом, это относительно новый диагноз для медицинской статистики и системы здравоохранения.

Саркопения — прогрессирующее генерализованное заболевание скелетной мускулатуры, ассоциированное с повышением риска неблагоприятных исходов, включая падения, переломы, физическую инвалидизацию и смертность [1]. Под термином «саркопения» в гериатрии подразумевают первичную саркопию — состояние, характеризующее прогрессирующей генерализованной потерей силы, массы и функции скелетных мышц вследствие старения без других причин [2].

Саркопения влечёт за собой множество отрицательных последствий и исходов, а также неблагоприятных воздействий на организм, таких как увеличение риска падений и, как следствие, переломов [3], физическая инвалидизация [4]. Саркопения связана также с длительностью госпитализаций и более тяжёлыми исходами при многих заболеваниях [5].

Учитывая потенциальное бремя для экономики и здравоохранения, актуальны своевременная диагностика саркопии и профилактика её последствий.

Целью нашего обзора является оценка реальной значимости саркопии в масштабах крупного мегаполиса (Москва), а также определение путей оптимизации диагностики данного состояния.

САРКОПИЯ: ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Эпидемиология

Первичная саркопения ассоциирована со старением, поэтому ей наиболее подвержены пациенты пожилого возраста. В литературе существуют данные о начале утраты функции мышечной ткани уже с 50 лет [6], однако в клиническом контексте принято рассматривать возрастные группы от 60 лет и старше.

По данным ряда обзоров [7, 8], распространённость саркопии в общей популяции составляет 10% (жители старше 60 лет). Помимо половой принадлежности и отношения к определённой социальной группе [самостоятельно проживающие пожилые (community-dwelling); контингент домов престарелых и специализированных клиник], различия в распространённости зависят от метода диагностики данного состояния: тесты, биоимпедансометрия, двухэнергетическая рентгеновская абсорциометрия, компьютерная и магнитно-резонансная томография.

В России эпидемиологические исследования с крупной выборкой на момент написания данной статьи не проводились. Имеется работа [9] с выборкой из 230 амбулаторных пациентов старше 65 лет, где распространённость саркопии оценивается в 30% по критериям Европейской рабочей группы по саркопии у пожилых людей (European Working Group on Sarcopenia in Older People, EWGSOP) и Международной рабочей группы по саркопии (International Working Group on Sarcopenia, IWGS), что не согласуется с данными вышеприведённых обзоров. Возможными причинами расхождений могут быть малый размер выборки и её несбалансированность (95,6% женщин), поэтому данные требуют уточнения.

Влияние саркопии на качество жизни и систему здравоохранения

Саркопения существенно снижает качество жизни, приводя к вынужденному ограничению физических нагрузок [10], что ещё более усугубляет положение пациента. Отрицательное влияние наблюдается как в здоровой, так и страдающей от острых, хронических и онкологических заболеваний популяции [11, 12]. Качество жизни пациентов оценивается с помощью опросников общего назначения Short Form-36 (SF-36)¹ и EuroQoL (EQ-5D)², а также с помощью эффективного специализированного опросника SarQoL (Sarcopenia and Quality of Life) [13–16], доступного на русском языке [17]. При оценке качества жизни по этим опросникам используется стобалльная система. В SF-36 представлена шкала значений от 0 до 100, где 0 соответствует худшему, а 100 — лучшему качеству жизни. В EQ-5D финальный результат также представлен стобалльной шкалой, но 0 соответствует самому худшему, а 100 — наилучшему состоянию здоровья.

Помимо снижения качества жизни, саркопения обуславливает существенные экономические затраты для системы здравоохранения. Существуют исследования, описывающие денежные затраты на пациентов с саркопией и без неё (медиана общих расходов на госпитализацию, средние расходы здравоохранения на человека за 3 мес,

¹ 36-Item Short Form Survey Instrument (SF-36) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rand.org/health-care/surveys_tools/mos/36-item-short-form/survey-instrument.html. Дата обращения: 06.06.2022.

² EuroQoL Research Foundation. EQ-5D-5L User Guide, 2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://euroqol.org/publications/user-guides/>. Дата обращения: 06.06.2022.

расходы на постоперационные мероприятия в течение 90 дней). В частных случаях увеличение затрат на суммарные госпитализационные расходы для пациентов с саркопенией может составлять в среднем до \$14,322 на человека [18]. Необходимо иметь в виду, что имеющиеся исследования в основном рассматривают расходы, связанные с госпитализацией для выполнения хирургических вмешательств (например, онкохирургия), используют разные способы диагностики, а также не имеют унифицированных пограничных значений для подтверждения диагноза саркопении [19]. Для более точной оценки общих затрат системы здравоохранения на пациентов с саркопенией необходимы дальнейшие исследования с использованием более однородной выборки, а также дополнением за счёт иных клинических сценариев (в особенности анализ расходов в амбулаторном звене).

Лечение саркопении

В настоящее время не существует унифицированного и узкоспецифического подхода к лечению саркопении. Тем не менее понимание патофизиологии процесса позволяет подбирать возможные варианты терапии. Существуют немедикаментозные и медикаментозные способы лечения саркопении. Среди немедикаментозных методов наиболее эффективными являются физические упражнения, в особенности силовые [20]. В настоящее время они являются наиболее экономически доступным способом не только долговременной профилактики саркопении, но и поддержки и улучшения общего физического здоровья [21]. Для улучшения и закрепления набора мышечной массы и силы используются пищевые добавки, такие как протеины (в том числе сывороточные), антиоксидантные агенты и длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты [22]. При немедикаментозной терапии саркопении рекомендуется начинать с физических упражнений как с метода, имеющего более высокую доказательность, нежели изменение диеты [23]. В качестве медикаментозной терапии рассматриваются такие средства, как витамин D [24], селективные модуляторы рецепторов андрогенов, антагонисты миостатина, активина [25], однако на данный момент их эффективность требует дальнейшего подтверждения за счёт большего количества клинических исследований.

Диагностика саркопении

В настоящее время в клинической практике диагностика саркопении зачастую основывается на простых анамнестических данных — жалобах на симптомы и признаки, свойственные заболеванию: падения, чувство слабости, медленная скорость ходьбы, сложность при вставании из сидячего положения [26]. Для объективизации диагностики, а также в качестве скрининга EWGSOP рекомендует использование опросника SARC-F (Strength, Assistance with walking, Rising from a chair, Climbing stairs, and Falls) [27], учитывающего как силу, так и помощь

при ходьбе, подъёме со стула и по лестнице, падениях. Тем не менее ввиду средней чувствительности (25; 31,6; 50%) и высокой специфичности (81,4; 82,4; 81,8%) теста, согласно критериям диагноза EWGSOP, Фонда Национальных институтов здравоохранения США (Foundation for the National Institutes of Health, FNIH) и Международной рабочей группы по саркопении (International Working Group on Sarcopenia, IWGS) [30] соответственно, опросник в большинстве случаев склонен к выявлению только тяжёлых случаев саркопении.

В России саркопения диагностируется не в виде отдельной нозологии, а как компонент синдрома старческой астении; для первичного скрининга используется шкала «Возраст не помеха», а для дальнейшего уточнения диагноза — комплексная гериатрическая оценка [2].

Для корректной диагностики саркопении необходимо использование инструментальных методов диагностики. Требуется измерение двух параметров — мышечной силы (включая физическую работоспособность) и мышечной массы [1]. Низкая мышечная сила означает возможность наличия саркопении; для подтверждения диагноза необходимы методы оценки мышечной массы [1].

Для измерения мышечной силы наиболее простым и доступным способом является использование ручного динамометра для оценки силы хвата с последующим сравнением полученных данных с референтными значениями в популяции [1]. Сила хвата хорошо коррелирует с общей мышечной силой, однако для наиболее достоверных результатов необходимо рассматривать разные мышечные группы [29]. Нормативные данные для определения низкой мышечной силы при кистевой динамометрии определяются полом и индексом массы тела (ИМТ): так, у мужчин с ИМТ от 24,1 до 28 пороговым значением является сила пожатия <30 кг, а у женщин с ИМТ от 23,1 до 26 — <17,3 кг [2]. Для оценки работоспособности применяется тест подъёма со стула [2], могут использоваться тесты «Встань и иди», тест скорости ходьбы, входящие в краткую батарею инструментов по оценке физического состояния (Short Physical Performance Battery, SPPB). При измерении скорости ходьбы пациенту предлагается пройти 4 м с привычной для него скоростью, при этом отмечается время прохождения дистанции и рассчитывается скорость (в м/с) [30]. Рекомендованным порогом для определения тяжёлой саркопении, по версии EWGSOP2 (2019 г.), считается скорость ходьбы $\leq 0,8$ м/с. При тесте «Встань и иди» пациентам предлагается встать со стула, пройти 3 м до маркера, развернуться, дойти обратно до стула и сесть на него [31]. По рекомендациям EWGSOP2, пороговым значением этого теста для диагноза саркопении считается ≥ 20 сек. Тест SPPB является комплексным и включает в себя оценку скорости ходьбы, оценку равновесия и тест подъёма со стула. В данном тесте максимально возможным результатом является 12 баллов, при этом результат ≤ 8 баллов указывает на плохую физическую функцию [32].

Для оценки состава тела человека и оценки мышечной массы применяют двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию (ДРА; dual energy X-ray absorptiometry) и биоимпедансометрию, биоимпедансный анализ (bioelectrical impedance analysis). Для оценки массы и качества мышечной ткани золотым стандартом, по версии EWGSOP, являются компьютерная и магнитно-резонансная томографии (КТ и МРТ) [1]. EWGSOP рекомендует визуализацию на уровне L3 позвонка с помощью КТ, измерение мышечной ткани в средней трети бедра, а также оценку мышечной ткани с использованием ультразвука [33]. В качестве методов лабораторной оценки саркопении применяются тесты с разведением креатина, ряд нейромышечных биомаркеров, оценка неспецифических воспалительных реакций, гормональные, анаболические факторы [1].

Методы лучевой диагностики саркопении

Лучевая диагностика саркопении основана на оценке снижения объёма мышечной ткани и ухудшении её «качества». Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия — наиболее часто применяемый для этих целей метод, что обусловлено низкой лучевой нагрузкой, возможностью получить воспроизводимые результаты, который, тем не менее, имеет свои недостатки и ограничения: исследование подразумевает измерение безжировой массы тела (lean body mass, LBM), а не изолированно мышечной массы, что может предоставлять некорректные результаты у пациентов с повышенным потреблением жидкости и/или с большим количеством фиброзной ткани; также не представляется возможной оценка качества мышечной ткани ввиду проекционного типа изображений [32]; ограничением метода является необходимость исследований в динамике на одном денситометре с регулярной калибровкой [34]; нет возможности выполнения исследований оппортунистически.

EWGSOP называет КТ и МРТ золотым стандартом неинвазивной оценки количества мышечной ткани, хотя данные методики не имеют широкого распространения по таким причинам, как высокая стоимость исследования/оборудования, отсутствие чётких пороговых диагностических значений, необходимость проведения сегментации для выявления мышц и других анатомических структур [1, 32]. В отличие от двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии, при КТ и МРТ зачастую отсутствует возможность сканирования тела целиком в связи с дозовой нагрузкой (для КТ) или же временными ограничениями (для МРТ), исследование ограничено одной анатомической областью.

В настоящее время одной из наиболее достоверных и эффективных методик КТ-оценки мышечной массы является проведение измерений по аксиальным срезам на уровне L3 позвонка [35]. Для данной анатомической локализации соотношение мышечной массы и жировой ткани хорошо коррелирует с соотношением для всего

тела [36]. Данный анатомический ориентир может использоваться для оценки саркопении у пациентов вне зависимости от ИМТ, при этом паренхиматозные органы брюшной полости, костные структуры наименее представлены на данном срезе и в меньшей мере затрудняют сегментацию мышечной и жировой ткани [37, 38].

Диагностика саркопенического ожирения

Одним из наиболее серьёзных сочетанных состояний при саркопении является саркопеническое ожирение. Часто (но не всегда) потеря мышечной массы при саркопении сопровождается увеличением объёма жировой ткани. Этот процесс напрямую влияет на качество мышечной ткани и, следовательно, на физическую работоспособность [39].

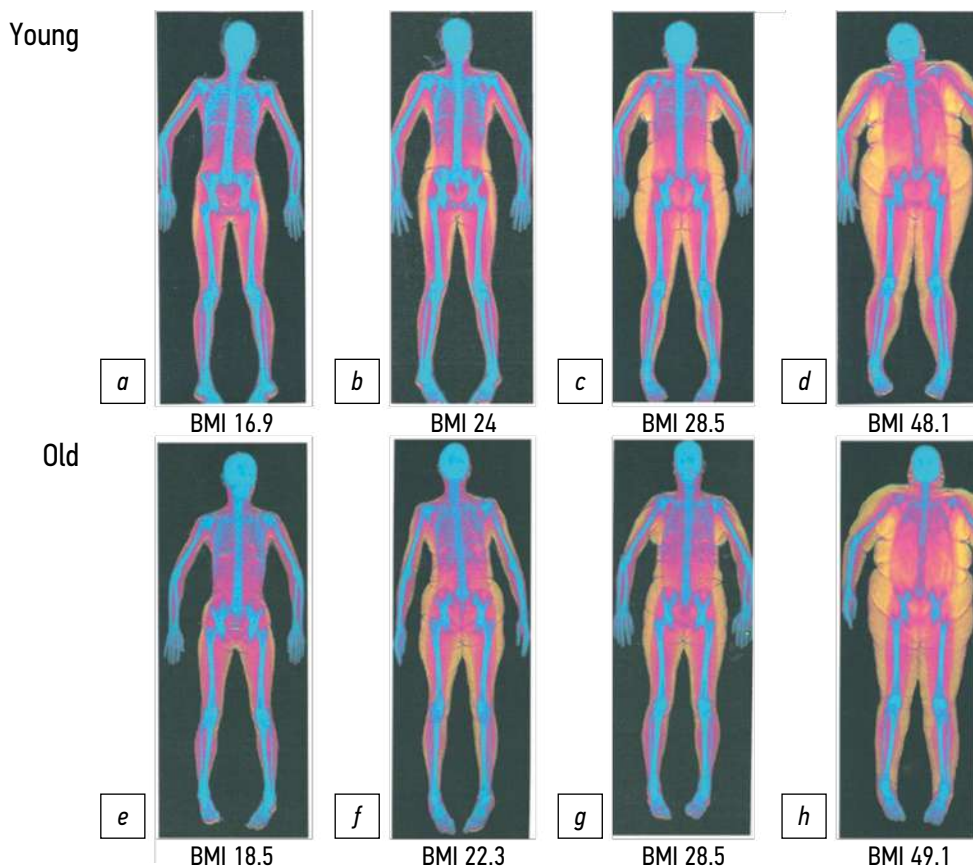
Саркопения, как и ожирение, характеризуется подострым хроническим провоспалением, отрицательно влияющим на функцию мышечной и жировой ткани [40]. Выявлены и дополнительные звенья патогенеза, определяющие связь между мышечным и жировым метаболизмом в саркопеническом ожирении [41]. Таким образом, наличие у пациента данного сочетанного состояния умножает риски неблагоприятных последствий [42].

Диагностические возможности медицинской визуализации, используемые при саркопении, хорошо подходят и для саркопенического ожирения: так, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия успешно используется для определения состава тела и соотношения массы тканей (рис. 1), а КТ и МРТ позволяют наглядно представить площадь и паттерн распределения лишней жировой ткани в висцеральных органах и в составе подкожно-жировой клетчатки.

Количественные критерии диагностики саркопении

Для диагностики снижения мышечной массы чаще всего используются два параметра — общая скелетная мышечная масса (skeletal muscle mass) и аппендикулярная мышечная масса (АММ; appendicular skeletal muscle mass). Определение АММ производится с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (выполняется сканирование всего тела пациента, оцениваются верхние и нижние конечности — анатомические области, не содержащие паренхиматозные органы; см. рис. 1), тогда как скелетная мышечная масса определяется методом биоимпедансометрии.

В качестве производного параметра определяется скелетно-мышечный индекс (СМИ; skeletal muscle index). Существует проблема унификации терминологии, т.к. в работах разных авторов для одного и того же понятия «скелетно-мышечный индекс» используются разные формулы расчёта [44]. Приводятся следующие способы его определения в зависимости от корректировки по отдельным параметрам: отношение АММ к росту (АММ/м²), отношение АММ к весу (АММ/кг) и отношение АММ к ИМТ (АММ/ИМТ). У каждого способа есть свои преимущества



***Рис. 1.** Пример диагностических изображений, полученных с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (по D.J. Tomlinson и соавт. [43]) при различных значениях индекса массы тела (BMI) у молодых (a–d) и пожилых (e–h) женщин. Синим цветом выделена костная ткань, красным — безжировая мышечная ткань, жёлтым — жировая ткань.

* Доступен по Creative Commons Attribution 3.0 International License (CC BY 3.0), Physiological Reports.

и недостатки: так, СМИ с корректировкой по росту пациента (АММ/м²) имеет менее надёжную корреляцию с астенией у женщин и не учитывает распределение жировой ткани [45]. Приводятся данные, что выявляемость тяжёлой саркопении при использовании СМИ с корректировкой на ИМТ вдвое выше, чем СМИ с корректировкой по росту [44]. Единственным вариантом СМИ, для которого существуют общепризнанные пограничные значения для установки диагноза саркопении, является отношение АММ к росту (АММ/м²). Они закреплены в консенсусах Европейской (EWGSOP) и Азиатской (Asian Working Group on Sarcopenia, AWGS) рабочих групп по саркопении. Эти данные, а также количественные критерии установки диагноза по мышечной силе представлены в табл. 1 и 2.

Для иных вариантов СМИ, использующих другие параметры для корректировки (ИМТ, вес), общепринятые пограничные значения отсутствуют.

Вариантом СМИ для посрезовой инструментальной диагностики с помощью КТ и МРТ является расчёт L3 СМИ по формуле $L3СМИ = \frac{S}{h^2}$, где L3 СМИ — скелетно-мышечный индекс на уровне L3 позвонка (см²/м); S — площадь всех групп мышц, попавших в срез (см²); h — рост человека (м).

На рис. 2 представлен вариант измерения площади мышечной ткани, подкожной жировой и висцеральной жировой ткани, попавших в срез на уровне L3, алгоритмом искусственного интеллекта.

Таблица 1. Пограничные количественные показатели для постановки диагноза саркопении, принятые консенсусом Европейской рабочей группы по саркопении у пожилых (EWGSOP2)

Метод исследования	Граница для мужчин	Граница для женщин
<i>Количественные критерии EWGSOP2 для низкой мышечной силы</i>		
Сила хвата	<27 кг	<16 кг
Тест подъёма со стула	>15 сек для 5 вставаний	
<i>Количественные критерии EWGSOP2 для низкой мышечной массы</i>		
Аппендикулярная мышечная масса (АММ)	<20 кг	<15 кг
АММ/рост ² , кг/м ²	<7,0 кг/м ²	<5,5 кг/м ²

Таблица 2. Пограничные количественные показатели для постановки диагноза саркопении, принятые консенсусом Азиатской рабочей группы по саркопении (AWGS)

Метод исследования	Граница для мужчин	Граница для женщин
<i>Количественные критерии AWGS для низкой мышечной силы</i>		
Сила хвата	<28 кг	<18 кг
Тест подъёма со стула	≥12 сек для 5 вставаний	
<i>Количественные критерии AWGS для низкой мышечной массы</i>		
АММ/рост ² , кг/м ²	<7,0 кг/м ²	<5,4 кг/м ²

Несмотря на перспективность применения и признания в качестве золотого стандарта оценку саркопении по данным КТ [1], пока ещё нет единых пограничных значений данного показателя [44].

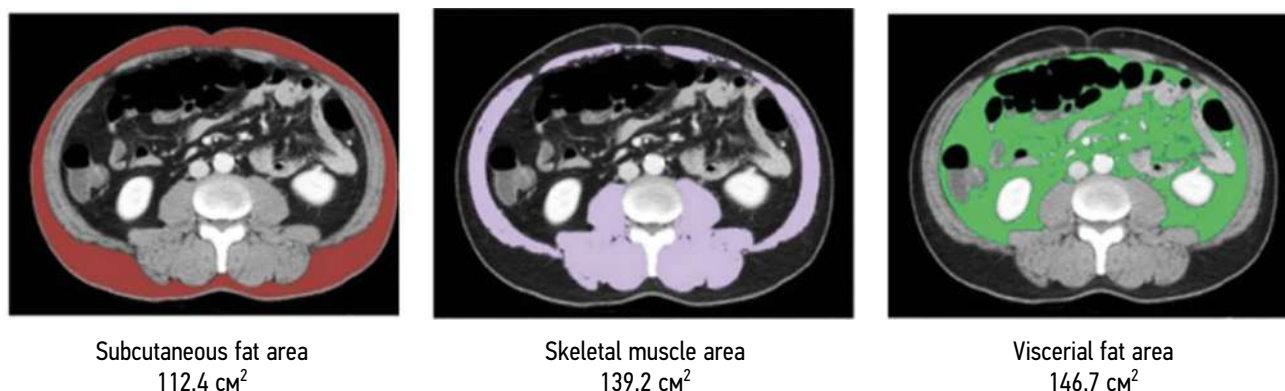
Для определения саркопении по СМИ, определённому для уровня L3, используются разные критерии. Пограничными значениями для саркопении являются <55 см²/м² для мужчин и <39 см²/м² для женщин [47], а также <53 см²/м² при ИМТ >25 и <43 см²/м² для ИМТ <25 для мужчин и <41 см²/м² вне зависимости от ИМТ для женщин [48]. Отсутствие унификации в очередной раз подчёркивает необходимость дальнейших популяционных исследований для определения корректных значений L3 СМИ.

Новые подходы в лучевой диагностике саркопении

Проблемой применения КТ для достоверной оценки степени снижения мышечной массы является необходимость ручной сегментации мышечной ткани на серии КТ-изображений, что затруднительно при большом потоке пациентов, однако существующее полуавтоматическое морфометрическое компьютерное программное обеспечение (ПО) для сегментации по признаку рентгенологической плотности мышечной ткани (часто в диапазоне от -29 до +150 единиц Хаунсфилда для мышц и от -30 до -190 единиц Хаунсфилда для жира) с применением масок пока не получило повсеместного применения. Примерами

такого ПО можно назвать Slice-0-Matic [49], AsanJ-Morphometry [50] и 3D Slicer [51].

С широким приходом в медицинскую визуализацию технологий искусственного интеллекта, в частности машинного обучения (machine learning), нейронных сетей и глубокого обучения (deep learning), появилась возможность создавать ПО, которое более точно сегментирует различные структуры на КТ- и МРТ-снимках, а также имеет возможность самообучения. Несмотря на сопряжённые с разработкой и использованием методики сложности, в литературе представлены соответствующие научные работы, освещающие разработку и валидацию сегментационных алгоритмов машинного обучения, в частности сегментацию скелетных мышц на КТ-исследованиях органов брюшной полости у онкологических пациентов [52–55]. Наиболее популярной используемой архитектурой для обучения моделей является U-Net [56], которая изначально создавалась для визуализации в клеточной биологии, однако позднее с успехом стала применяться и в лучевой диагностике. Второй по частоте использования архитектурой является полносвязная нейронная сеть FCNN (Fully Connected Neural Network) [57], имеющая более общее применение и изначально созданная для семантической сегментации. Основным параметром, по которому оценивается работа нейросетей-сегментаторов, является коэффициент Дайса, показывающий процент соответствия одного массива данных другому, в данном случае — соответствие предсказанной разметки



***Рис. 2.** Пример измерения площади (в см²) мышечной ткани, подкожной жировой и висцеральной жировой ткани, попавших в срез на уровне L3, алгоритмом искусственного интеллекта L3SEG-net из работы J. На и соавт. [46]. Слева направо красным цветом выделена подкожная жировая ткань, фиолетовым — скелетная мышечная масса, зелёным — висцеральная жировая ткань.
* Доступен по Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), Scientific Reports.

стандарту, заложенному разработчиками нейросети. В настоящее время в литературе уже имеются примеры алгоритмов, коэффициент Дайса которых превышает 0,97 [58].

Всё чаще исследователи создают комплексные модели на основе нескольких архитектур для нескольких разных подзадач, как, например, в работе J. На и соавт. [46]: по сути, готовое ПО использует две архитектуры — YOLOv3 и FCNN, где первая выполняет задачу поиска конкретного объекта (в данном случае L3 позвонка), а вторая производит непосредственно сегментацию. Использование глубокого обучения открывает также возможность для создания карт, отображающих качество скелетно-мышечной ткани по признаку количества внутримышечного жира. Примером является работа D.W. Kim и соавт. [59], где авторы на основе ранее созданного алгоритма с FCNN-архитектурой создали веб-приложение, позволяющее создавать из КТ-срезов на уровне L3 позвонка размеченные карты, наглядно отображающие соотношение мышечной ткани и внутримышечного жира (рис. 3). Главным прикладным недостатком работы

на данный момент является отсутствие соответствующих пограничных значений или же специального индекса, позволивших бы оценивать именно качество мышечной ткани объективно, а не субъективно. Тем не менее, учитывая для полноценной диагностики и прогноза течения саркопении важность не только оценки силы и количества, но и качества мышечной ткани, данное направление является довольно перспективным для будущих исследований.

Стоит отметить, что наличие специализированного ПО на основе технологий глубокого обучения позволяет не только решать клинико-практическую задачу уточнения диагноза саркопении, но и открывает возможности для оппортунистического скрининга данного состояния.

Возможности оппортунистического скрининга

Как было сказано нами ранее, специфика расчёта показателя L3 СМИ и его получения при инструментальной диагностике с помощью лучевых методов делает возможным оппортунистический КТ-скрининг при помощи



*Рис. 3. Карты качества мышечной ткани, полученные с использованием автоматизированного веб-инструмента (по D.W. Kim и соавт. [59]). IMAT: зона между-/внутримышечной жировой ткани; LAMA: зона мышечной ткани низкой плотности; NAMA: зона мышечной ткани нормальной плотности; SMA: зона скелетной мышечной ткани; TAMA: общая зона абдоминальной мышечной ткани. * Доступен по Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), JMIR Medical Informatics.

использования ПО для автоматической сегментации. Данный анатомический ориентир интересен частой встречаемостью в КТ-исследованиях, что отчасти обусловлено стандартами оказания медицинской помощи, например при онкологических заболеваниях, где требуется использование КТ для поиска отдалённых метастазов. Как одно из подтверждений, расчёт L3 СМН часто доступен у онкологических пациентов и используется для оценки раковой кахексии и её связи с исходами заболевания [47, 48, 60]. В качестве примера успешной работы алгоритма-сегментатора мышечной ткани на крупной ретроспективной скрининговой выборке можно привести публикацию Р.М. Graffy и соавт. [61]. Авторы использовали выборку из 8037 асимптоматичных пациентов, которым была проведена КТ органов брюшной полости без контрастного усиления в период с апреля 2004 по декабрь 2016 г. Учитывая тот факт, что большую часть выборки составляли здоровые пациенты, помимо валидации работы алгоритма авторам также удалось получить средние показатели для здоровой популяции. Ограничениями данного исследования авторы называют использование КТ-изображений пациентов только одного медицинского учреждения, а также неудовлетворительную работу алгоритма на КТ-изображениях с наличием артефактов от металлоконструкций, артефактов движения, а также на КТ-изображениях, полученных с помощью низкодозовых протоколов сканирования. Последнее ограничение свойственно для любых алгоритмов-сегментаторов. Тем не менее, несмотря на недостатки, сложно переоценить одно из главных преимуществ оппортунистического скрининга — отсутствие необходимости выполнения дополнительных лучевых исследований, а следовательно, снижение получаемой пациентом гипотетической дозы рентгеновского излучения.

Примером успешного внедрения системы оппортунистического скрининга в Едином радиологическом информационном сервисе Единой медицинской информационно-аналитической системы г. Москвы (ЕРИС ЕМИАС) можно назвать проект оппортунистического скрининга остеопороза [62] и ряда других заболеваний и состояний (аневризмы аорты, признаки лёгочной гипертензии с определением диаметра лёгочного ствола, рак лёгкого, признаки инсульта и т.д.) в рамках эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы³ [63].

По аналогии с уже внедрённым решением, а также с учётом опыта зарубежных коллег мы предлагаем возможный вариант организации оппортунистического скрининга саркопении (в том числе ретроспективного)

с последующим внедрением в ЕРИС ЕМИАС. В качестве прототипа для разработки инструмента автоматической сегментации мышечной и жировой ткани на КТ-изображениях на уровне L3 позвонка возможно использование архитектуры U-Net++ [64]. Преимуществом данного подхода являются высокие показатели коэффициента Дайса для нейросети даже при очень малом размере обучающей выборки (подкожный жир — 0,9706, мышцы — 0,9312, внутримышечный жир — 0,6465, висцеральный жир — 0,9609; обучающая выборка — 15 пациентов). Перспективой данного направления является возможность быстрой оппортунистической оценки количества мышечной ткани, уточнение граничных значений для диагностики саркопении, что позволит своевременно выявлять патологическое состояние, прогнозировать и снижать неблагоприятные исходы при различных инвазивных вмешательствах, предотвращать прогрессирующее снижение качества жизни данной категории пациентов, сокращать расходы ресурсов системы здравоохранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Саркопения является заболеванием, представляющим социальное и экономическое бремя для системы здравоохранения. Несмотря на то, что узкоспециализированного медикаментозного лечения для саркопении не существует, профилактика и своевременное немедикаментозное лечение с помощью силовых физических упражнений поможет снизить риск потенциальных неблагоприятных последствий. Необходима своевременная диагностика снижения как мышечной силы, так и мышечной массы. Хорошим дополнением к уже используемым методам инструментальной диагностики (двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия и биоимпедансометрия) могут быть алгоритмы искусственного интеллекта для автоматической сегментации мышечной и жировой ткани на КТ- и МР-изображениях с последующим расчётом L3 СМН. Подобное ПО при использовании в таких системах, как ЕРИС ЕМИАС, открывает возможности для оппортунистического скрининга.

Тем не менее, несмотря на признание EWGSOP золотым стандартом методик КТ и МРТ, общепризнанных количественных значений L3 СМН для КТ- и МР-диагностики саркопении пока не существует. В дополнение к этому существует проблема унификации термина «скелетно-мышечный индекс». При решении данных проблем с помощью дальнейших популяционных исследований станет возможным получение новой методики инструментальной диагностики саркопении с последующим её применением для скрининга данного состояния.

³ Центр диагностики и телемедицины [интернет]. Каталог ИИ-сервисов. ИИ-сервисы в лучевой диагностике. Режим доступа: https://mosmed.ai/service_catalog/. Дата обращения: 26.08.2022.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской работы (№ ЕГИСУ: АААА-А21-121012290079-2) в соответствии с Программой Департамента здравоохранения города Москвы «Научное обеспечение столичного здравоохранения» на 2020–2022 годы.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.К. Сморчкова — подбор и анализ материалов для обзора, написание текста статьи; А.В. Петрайкин — написание текста статьи, редактирование; Д.С. Семенов, Д.Е. Шарова — концепция обзора, написание текста статьи, финальные правки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cruz-Jentoft A.J., Bahat G., Bauer J., et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis // *Age and Ageing*. 2018. Vol. 48, N 1. P. 16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
2. Ткачева О.Н., Котовская Ю.В., Рунихина Н.К., и др. Клинические рекомендации «Старческая астения» // *Российский журнал гериатрической медицины*. 2020. № 1. С. 11–46. doi: 10.37586/2686-8636-1-2020-11-46
3. Bischoff-Ferrari H.A., Orav J.E., Kanis J.A., et al. Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older // *Osteoporosis Int*. 2015. Vol. 26, N 12. P. 2793–2802. doi: 10.1007/s00198-015-3194-y
4. da Silva Alexandre T., de Oliveira Duarte Y.A., Ferreira Santos J.L., et al. Sarcopenia according to the European Working Group on sarcopenia in older people (EWGSOP) versus dynapenia as a risk factor for disability in the elderly // *J Nutr Health Aging*. 2014. Vol. 18, N 5. P. 547–553. doi: 10.1007/s12603-014-0465-9
5. Sousa A.S., Guerra R.S., Fonseca I., et al. Sarcopenia and length of hospital stay // *Eur J Clin Nutr*. 2015. Vol. 70, N 5. P. 595–601. doi: 10.1038/ejcn.2015.207
6. Faulkner J.A., Larkin L.M., Claflin D.R., Brooks S.V. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles // *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007. Vol. 34, N 11. P. 1091–1096. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04752.x
7. Shafiee G., Keshtkar A., Soltani A., et al. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies // *J Diabetes Metab Disord*. 2017. Vol. 16, P. 21. doi: 10.1186/s40200-017-0302-x
8. Petermann-Rocha F., Balntzi V., Gray S.R., et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021. Vol. 13, N 1. P. 86–99. doi: 10.1002/jcsm.12783

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as part of research (No. in the Unified State Information System for Accounting of Research, Development, and Technological Works (EGISU): АААА-А21-121012290079-2) under the Program of the Moscow Healthcare Department “Scientific Support of the Capital’s Healthcare” for 2020–2022.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors’ contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.S. Smorchkova — data sources collection and analysis, manuscript preparation; A.V. Petraikin — manuscript preparation, manuscript revision; D.S. Semenov, D.E. Sharova — review concept, manuscript preparation, final editing.

9. Сафонова Ю.А., Зоткин Е.Г. Саркопения у пациенток старшего возраста с остеоартритом крупных суставов // *Научно-практическая ревматология*. 2019. Т. 57, № 2. С. 154–159. doi: 10.14412/1995-4484-2019-154-159
10. Tsekoura M., Kastrinis A., Katsoulaki M., et al. Sarcopenia and its impact on quality of life // *Adv Exp Med Biol*. 2017. Vol. 987. P. 213–218. doi: 10.1007/978-3-319-57379-3_19
11. Sepúlveda-Loyola W., Osadnik C., Phu S., et al. Diagnosis, prevalence, and clinical impact of SARCOPENIA IN COPD: a systematic review and meta-analysis // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020. Vol. 11, N 5. P. 1164–1176. doi: 10.1002/jcsm.12600
12. Nipp R.D., Fuchs G., El-Jawahri A., et al. Sarcopenia is associated with quality of life and depression in patients with advanced cancer // *Oncologist*. 2017. Vol. 23, N 1. P. 97–104. doi: 10.1634/theoncologist.2017-0255
13. Beaudart C., Biver E., Reginster J.Y., et al. Development of a self-administrated quality of life questionnaire for sarcopenia in elderly subjects: the SarQoL // *Age Ageing*. 2015. Vol. 44, N 6. P. 960–966. doi: 10.1093/ageing/afv133
14. Geerinck A., Bruyère O., Locquet M., et al. Evaluation of the responsiveness of the SARQOL® questionnaire, a patient-reported outcome measure specific to sarcopenia // *Adv Ther*. 2018. Vol. 35, N 11. P. 1842–1858. doi: 10.1007/s12325-018-0820-z
15. Geerinck A., Locquet M., Bruyère O., et al. Evaluating quality of life in frailty: applicability and clinimetric properties of the SARQOL questionnaire // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021. Vol. 12, N 2. P. 319–330. doi: 10.1002/jcsm.12687
16. Witham M.D., Heslop P., Dodds R.M., et al. Performance of the SARQOL quality of life tool in a UK population of older people with probable sarcopenia and implications for use in clinical trials: findings from the SARCNET registry // *BMC Geriatrics*. 2022. Vol. 22, N 1. P. 368. doi: 10.1186/s12877-022-03077-5

17. Сафонова Ю.А., Лесняк О.М., Баранова И.А., и др. Русский перевод и валидация SarQoL — опросника качества жизни для пациентов с саркопенией // Научно-практическая ревматология. 2019. Т. 57, № 1. С. 38–45.
18. Gani F., Buettner S., Margonis G.A., et al. Sarcopenia predicts costs among patients undergoing major abdominal operations // *Surgery*. 2016. Vol. 160, N 5. P. 1162–1171. doi: 10.1016/j.surg.2016.05.002
19. Bruyère O., Beaudart C., Ethgen O., et al. The health economics burden of sarcopenia: a systematic review // *Maturitas*. 2019. Vol. 119. P. 61–69. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.11.003
20. Peterson M.D., Rhea M.R., Sen A., Gordon P.M. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis // *Ageing Res Rev*. 2010. Vol. 9, N 3. P. 226–237. doi: 10.1016/j.arr.2010.03.004
21. McKendry J., Currier B.S., Lim C., et al. Nutritional supplements to support resistance exercise in countering the sarcopenia of aging // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 7. P. 2057. doi: 10.3390/nu12072057
22. Robinson S.M., Reginster J.Y., Rizzoli R., et al. Does nutrition play a role in the prevention and management of sarcopenia? // *Clin Nutr*. 2018. Vol. 37, N 4. P. 1121–1132. doi: 10.1016/j.clnu.2017.08.016
23. Lozano-Montoya I., Correa-Pérez A., Abraha I., et al. Nonpharmacological interventions to treat physical frailty and sarcopenia in older patients: a systematic overview — the senator Project Ontop series // *Clin Interv Aging*. 2017. Vol. 12. P. 721–740. doi: 10.2147/CIA.S132496
24. Lappe J.M., Binkley N. Vitamin D and Sarcopenia/Falls // *J Clin Densitometry*. 2015. Vol. 18, N 4. P. 478–482.
25. Rooks D., Roubenoff R. Development of pharmacotherapies for the treatment of sarcopenia // *J Frailty Aging*. 2019. P. 1–11. doi: 10.14283/jfa.2019.11
26. Morley J.E., Abbatecola A.M., Argiles J.M., et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus // *J Am Med Dir Assoc*. 2011. Vol. 12, N 6. P. 403–409. doi: 10.1016/j.jamda.2011.04.014
27. Malmstrom T.K., Miller D.K., Simonsick E.M., et al. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes // *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2015. Vol. 7, N 1. P. 28–36. doi: 10.1002/jcsm.12048
28. Bahat G., Yilmaz O., Kiliç C., et al. Performance of SARC-F in regard to sarcopenia definitions, muscle mass and functional measures // *J Nutr Health Aging*. 2018. Vol. 22, N 8. P. 898–903. doi: 10.1007/s12603-018-1067-8
29. Porto J.M., Nakaishi A.P., Cangussu-Oliveira L.M., et al. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people // *Arch Gerontol Geriatr*. 2019. Vol. 82. P. 273–278. doi: 10.1016/j.archger.2019.03.005
30. Maggio M., Ceda G.P., Ticinesi A., et al. Instrumental and non-instrumental evaluation of 4-meter walking speed in older individuals // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, N 4. P. e0153583. doi: 10.1371/journal.pone.0153583
31. Podsiadlo D., Richardson S. The timed “Up & go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons // *J Am Geriatr Soc*. 1991. Vol. 39, N 2. P. 142–148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
32. Beaudart C., McCloskey E., Bruyère O., et al. Sarcopenia in daily practice: assessment and management // *BMC Geriatrics*. 2016. Vol. 16, N 1. P. 170. doi: 10.1186/s12877-016-0349-4
33. Stringer H.J., Wilson D. The role of ultrasound as a diagnostic tool for sarcopenia // *J Frailty Aging*. 2018. Vol. 7, N 4. P. 258–261. doi: 10.14283/jfa.2018.24
34. Петряйкин А.В., Смолярчук М.Я., Петряйкин Ф.А., и др. Оценка точности денситометрических исследований. Применение фантома РСК ФК2 // *Травматология и ортопедия России*. 2019. Т. 25, № 3. С. 124–134. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134
35. Shen W., Punyanitya M., Wang Z., et al. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image // *J Appl Physiol* (1985). 2004. Vol. 97, N 6. P. 2333–2338. doi: 10.1152/jappphysiol.00744.2004
36. Mourtzakis M., Prado C.M., Lieffers J.R., et al. A practical and precise approach to quantification of body composition in cancer patients using computed tomography images acquired during routine care // *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008. Vol. 33, N 5. P. 997–1006. doi: 10.1139/H08-075
37. Kim E.Y., Kim Y.S., Park I., et al. Prognostic significance of CT-determined sarcopenia in patients with small-cell lung cancer // *J Thorac Oncol*. 2015. Vol. 10, N 12. P. 1795–1799. doi: 10.1097/JTO.0000000000000690
38. Baracos V., Kazemi-Bajestani S.M. Clinical outcomes related to muscle mass in humans with cancer and catabolic illnesses // *Int J Biochem Cell Biol*. 2013. Vol. 45, N 10. P. 2302–2308. doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.016
39. Franceschi C., Garagnani P., Morsiani C., et al. The continuum of aging and age-related diseases: common mechanisms but different rates // *Front Med (Lausanne)*. 2018. Vol. 5. P. 61. doi: 10.3389/fmed.2018.00061
40. Ferrucci L., Fabbri E. Inflammation: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty // *Nature Rev Cardiol*. 2018. Vol. 15, N 9. P. 505–522. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2
41. Zamboni M., Rubele S., Rossi A.P. Sarcopenia and obesity // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2019. Vol. 22, N 1. P. 13–19. doi: 10.1097/MCO.0000000000000519
42. Batsis J.A., Villareal D.T. Sarcopenic obesity in older adults: etiology, epidemiology and treatment strategies // *Nat Rev Endocrinol*. 2018. Vol. 14, N 9. P. 513–537. doi: 10.1038/s41574-018-0062-9
43. Tomlinson D.J., Erskine R.M., Winwood K., et al. Obesity decreases both whole muscle and fascicle strength in young females but only exacerbates the aging-related whole muscle level asthenia // *Physiol Rep*. 2014. Vol. 2, N 6. P. e12030. doi: 10.14814/phy2.12030
44. Kim K.M., Jang H.C., Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia // *Korean J Intern Med*. 2016. Vol. 31, N 4. P. 643–650. doi: 10.3904/kjim.2016.015
45. Newman A.B., Kupelian V., Visser M., et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function // *J Am Geriatr Soc*. 2003. Vol. 51, N 11. P. 1602–1609. doi: 10.1046/j.1532-5415.2003.51534.x
46. Ha J., Park T., Kim H.K., et al. Development of a fully automatic deep learning system for L3 selection and body composition as-

- essment on computed tomography // *Sci Rep*. 2021. Vol. 11, N 1. P. 21656. doi: 10.1038/s41598-021-00161-5
- 47.** Prado C.M., Liefers J.R., McCargar L.J., et al. Prevalence and clinical implications of SARCOPENIC obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study // *Lancet Oncol*. 2008. Vol. 9, N 7. P. 629–635. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0
- 48.** Martin L., Birdsell 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 // *J Clin Oncol*. 2013. Vol. 31, N 12. P. 1539–1547. doi: 10.1200/JCO.2012.45.2722
- 49.** Popuri K., Cobzas D., Esfandiari N., et al. Body composition assessment in axial CT images using FEM-based automatic segmentation of skeletal muscle // *IEEE Trans Med Imaging*. 2016. Vol. 35, N 2. P. 512–520. doi: 10.1109/TMI.2015.2479252
- 50.** Park J., Gil J.R., Shin Y., et al. Reliable and robust method for abdominal muscle mass quantification using CT/MRI: An explorative study in healthy subjects // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, N 9. P. e0222042. doi: 10.1371/journal.pone.0222042
- 51.** Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network // *Magn Reson Imaging*. 2012. Vol. 30, N 9. P. 1323–1341. doi: 10.1016/j.mri.2012.05.001
- 52.** Burns J.E., Yao J., Chalhoub D., et al. A machine learning algorithm to estimate sarcopenia on abdominal CT // *Acad Radiol*. 2020. Vol. 27, N 3. P. 311–320. doi: 10.1016/j.acra.2019.03.011
- 53.** Blanc-Durand P., Schiratti J.B., Schutte K., et al. Abdominal musculature segmentation and surface prediction from CT using deep learning for sarcopenia assessment // *Diagn Interv Imaging*. 2020. Vol. 101, N 12. P. 789–794. doi: 10.1016/j.diii.2020.04.011
- 54.** Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment // *Br J Radiol*. 2019. Vol. 92, N 1100. P. 20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
- 55.** Ackermans L.L., Volmer L., Wee L., et al. Deep learning automated segmentation for muscle and adipose tissue from abdominal computed tomography in polytrauma patients // *Sensors (Basel)*. 2021. Vol. 21, N 6. P. 2083. doi: 10.3390/s21062083
- 56.** Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation // *Lecture Notes Computer Sci*. 2015. P. 234–241. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28
- 57.** Shelhamer E., Long J., Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation // *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2017. Vol. 39, N 4. P. 640–651. doi: 10.1109/TPAMI.2016.2572683
- 58.** Islam S., Kanavati F., Arain Z., et al. Fully-automated deep learning slice-based muscle estimation from CT images for sarcopenia assessment // *Clin Radiol*. 2022. Vol. 77, N 5. P. e363–e371. doi: 10.1016/j.crad.2022.01.036
- 59.** Kim D.W., Kim K.W., Ko Y., et al. Assessment of myosteatorsis on computed tomography by automatic generation of a muscle quality map using a web-based toolkit: feasibility study // *JMIR Med Inform*. 2020. Vol. 8, N 10. P. e23049. doi: 10.2196/23049
- 60.** Dong X., Dan X., Yawen A., et al. Identifying sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer patients using skeletal muscle CT radiomics and machine learning // *Thorac Cancer*. 2020. Vol. 11, N 9. P. 2650–2659. doi: 10.1111/1759-7714.13598
- 61.** Graffy P.M., Liu J., Pickhardt P.J., et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment // *Br J Radiol*. 2019. Vol. 92, N 1100. P. 20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
- 62.** Петрайкин А.В., Артюкова З.Р., Низовцова Л.А., и др. Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза // *Менеджер здравоохранения*. 2021. № 2. P. 31–39. doi: 10.21045/1811-0185-2021-2-31-39
- 63.** Морозов С.П., Владимировский А.В., Ледихова Н.В., и др. Московский эксперимент по применению компьютерного зрения в лучевой диагностике: вовлеченность врачей-рентгенологов // *Врач и информационные технологии*. 2020. № 4. С. 14–23. doi: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23
- 64.** Сеньюкова О.В., Пятковский С.А., Петрайкин А.В., и др. Автоматическая сегментация мышечной и жировой ткани на КТ-изображениях для оценки состава тела человека и диагностики саркопении // *Конференция «Информационные технологии для персонализированной медицины» с блоком летней школы для молодых ученых, 4 ноября 2021 г.: сборник тезисов*. Москва, 2021. С. 41. doi: 10.14341/cbaipm-2021-41

REFERENCES

- 1.** Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019;48(1):16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169
- 2.** Tkacheva ON, Kotovskaya YV, Runikhina NK, et al. Clinical guidelines on Frailty. *Russ J Geriatric Med*. 2020;(1):11–46. (In Russ). doi: 10.37586/2686-8636-1-2020-11-46
- 3.** Bischoff-Ferrari HA, Orav JE, Kanis JA, et al. Comparative performance of current definitions of sarcopenia against the prospective incidence of falls among community-dwelling seniors age 65 and older. *Osteoporos Int*. 2015;26(12):2793–2802 doi: 10.1007/s00198-015-3194-y
- 4.** da Silva Alexandre T, de Oliveira Duarte YA, Ferreira Santos JL, et al. Sarcopenia according to the European working group on sarcopenia in older people (EWGSOP) versus Dynapenia as a risk factor for disability in the elderly. *J Nutr Health Aging*. 2014;18(5):547–553. doi: 10.1007/s12603-014-0465-9
- 5.** Sousa AS, Guerra RS, Fonseca I, et al. Sarcopenia and length of hospital stay. *Eur J Clin Nutr*. 2016;70(5):595–601. doi: 10.1038/ejcn.2015.207
- 6.** Faulkner JA, Larkin LM, Claflin DR, Brooks SV. Age-related changes in the structure and function of skeletal muscles. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007;34(11):1091–1096. doi: 10.1111/j.1440-1681.2007.04752.x
- 7.** Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, et al. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies. *J Diabetes Metab Disord*. 2017;16:21. doi: 10.1186/s40200-017-0302-x

8. Petermann-Rocha F, Balntzi V, Gray SR, et al. Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022;13(1):86–99. doi: 10.1002/jcsm.12783
9. Safonova YA, Zotkin EG. Sarcopenia in older patients with osteoarthritis of large joints. *Sci Pract Rheumatol*. 2019;57(2):154–159. (In Russ). doi: 10.14412/1995-4484-2019-154-159
10. Tsekoura M, Kastrinis A, Katsoulaki M, et al. Sarcopenia and its impact on quality of life. *Adv Exp Med Biol*. 2017;987:213–218. doi: 10.1007/978-3-319-57379-3_19
11. Sepúlveda-Loyola W, Osadnik C, Phu S, et al. Diagnosis, prevalence, and clinical impact of sarcopenia in COPD: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020;11(5):1164–1176. doi: 10.1002/jcsm.12600
12. Nipp RD, Fuchs G, El-Jawahri A, et al. Sarcopenia is associated with quality of life and depression in patients with advanced cancer. *Oncologist*. 2018;23(1):97–104. doi: 10.1634/theoncologist.2017-0255
13. Beaudart C, Biver E, Reginster JY, et al. Development of a self-administrated quality of life questionnaire for sarcopenia in elderly subjects: the SarQoL. *Age Ageing*. 2015;44(6):960–966. doi: 10.1093/ageing/afv133
14. Geerinck A, Bruyère O, Locquet M, et al. Evaluation of the responsiveness of the SarQoL questionnaire, a patient-reported outcome measure specific to sarcopenia. *Adv Ther*. 2018;35(11):1842–1858. doi: 10.1007/s12325-018-0820-z
15. Geerinck A, Locquet M, Bruyère O, et al. Evaluating quality of life in frailty: applicability and clinimetric properties of the SarQoL questionnaire. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2021;12(2):319–330. doi: 10.1002/jcsm.12687
16. Witham MD, Heslop P, Dodds RM, et al. Performance of the SarQoL quality of life tool in a UK population of older people with probable sarcopenia and implications for use in clinical trials: findings from the SarcNet registry. *BMC Geriatr*. 2022;22(1):368. doi: 10.1186/s12877-022-03077-5
17. Russian translation and validation of SarQoL — quality of life questionnaire for patients with sarcopenia. *Sci Pract Rheumatol*. 2019;57(1):38–45. (In Russ). doi: 10.14412/1995-4484-2019-38-45
18. Gani F, Buettner S, Margonis GA, et al. Sarcopenia predicts costs among patients undergoing major abdominal operations. *Surgery*. 2016;160(5):1162–1171. doi: 10.1016/j.surg.2016.05.002
19. Bruyère O, Beaudart C, Ethgen O, et al. The health economics burden of sarcopenia: a systematic review. *Maturitas*. 2019;119:61–69. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.11.003
20. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2010;9(3):226–237. doi: 10.1016/j.arr.2010.03.004
21. McKendry J, Currier BS, Lim C, et al. Nutritional supplements to support resistance exercise in countering the sarcopenia of aging. *Nutrients*. 2020;12(7):2057. doi: 10.3390/nu12072057
22. Robinson SM, Reginster JY, Rizzoli R, et al. Does nutrition play a role in the prevention and management of sarcopenia? *Clin Nutr*. 2018;37(4):1121–1132. doi: 10.1016/j.clnu.2017.08.016
23. Lozano-Montoya I, Correa-Pérez A, Abraha I, et al. Nonpharmacological interventions to treat physical frailty and sarcopenia in older patients: a systematic overview — the SENATOR Project ONTOP Series. *Clin Interv Aging*. 2017;12:721–740. doi:10.2147/CIA.S132496
24. Lappe JM, Binkley N. Vitamin D and sarcopenia/falls. *J Clin Densitom*. 2015;18(4):478–482. doi: 10.1016/j.jocd.2015.04.015
25. Rooks D, Roubenoff R. Development of pharmacotherapies for the treatment of sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2019;8(3):120–130. doi: 10.14283/jfa.2019.11
26. Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus. *J Am Med Dir Assoc*. 2011;12(6):403–409. doi: 10.1016/j.jamda.2011.04.014
27. Malmstrom TK, Miller DK, Simonsick EM, et al. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2016;7(1):28–36. doi: 10.1002/jcsm.12048
28. Bahat G, Yilmaz O, Kiliç C, et al. Performance of SARC-F in regard to sarcopenia definitions, muscle mass and functional measures. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(8):898–903. doi: 10.1007/s12603-018-1067-8
29. Porto JM, Nakaishi AP, Cangussu-Oliveira LM, et al. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people. *Arch Gerontol Geriatr*. 2019;82:273–278. doi: 10.1016/j.archger.2019.03.005
30. Maggio M, Ceda GP, Ticinesi A, et al. Instrumental and non-instrumental evaluation of 4-meter walking speed in older individuals. *PLoS One*. 2016;11(4):e0153583. doi: 10.1371/journal.pone.0153583
31. Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142–148. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x
32. Beaudart C, McCloskey E, Bruyère O, et al. Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC Geriatr*. 2016;16(1):170. doi: 10.1186/s12877-016-0349-4
33. Stringer HJ, Wilson D. The role of ultrasound as a diagnostic tool for sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2018;7(4):258–261. doi: 10.14283/jfa.2018.24
34. Petraikin AV, Smoliarchuk MY, Petryaykin FA, et al. Assessment the accuracy of densitometry measurements using DMA PP2 Phantom. *Traumatol Orthopedics Russ*. 2019;25(3):124–134. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-124-134
35. Shen W, Punyanitya M, Wang Z, et al. Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image. *J Appl Physiol (1985)*. 2004;97(6):2333–2338. doi: 10.1152/jappphysiol.00744.2004
36. Mourtzakis M, Prado CM, Lieffers JR, et al. A practical and precise approach to quantification of body composition in cancer patients using computed tomography images acquired during routine care. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(5):997–1006. doi: 10.1139/H08-075
37. Kim EY, Kim YS, Park I, et al. Prognostic significance of CT-determined sarcopenia in patients with small-cell lung cancer. *J Thorac Oncol*. 2015;10(12):1795–1799. doi: 10.1097/JTO.0000000000000690
38. Baracos V, Kazemi-Bajestani SM. Clinical outcomes related to muscle mass in humans with cancer and catabolic illnesses. *Int J Biochem Cell Biol*. 2013;45(10):2302–2308. doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.016

39. Franceschi C, Garagnani P, Morsiani C, et al. The continuum of aging and age-related diseases: common mechanisms but different rates. *Front Med (Lausanne)*. 2018;5:61. doi: 10.3389/fmed.2018.00061
40. Ferrucci L, Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. *Nat Rev Cardiol*. 2018;15(9):505–522. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2
41. Zamboni M, Rubele S, Rossi AP. Sarcopenia and obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2019;22(1):13–19. doi: 10.1097/MCO.0000000000000519
42. Batsis JA, Villareal DT. Sarcopenic obesity in older adults: etiology, epidemiology and treatment strategies. *Nat Rev Endocrinol*. 2018;14(9):513–537. doi: 10.1038/s41574-018-0062-9
43. Tomlinson DJ, Erskine RM, Winwood K, et al. Obesity decreases both whole muscle and fascicle strength in young females but only exacerbates the aging-related whole muscle level asthenia *Physiol Rep*. 2014;2(6):e12030. doi: 10.14814/phy2.12030
44. Kim KM, Jang HC, Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med*. 2016;31(4):643–650. doi: 10.3904/kjim.2016.015
45. Newman AB, Kupelian V, Visser M, et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *J Am Geriatr Soc*. 2003;51(11):1602–1609. doi: 10.1046/j.1532-5415.2003.51534.x
46. Ha J, Park T, Kim HK, et al. Development of a fully automatic deep learning system for L3 selection and body composition assessment on computed tomography. *Sci Rep*. 2021;11(1):21656. doi: 10.1038/s41598-021-00161-5
47. Prado CM, Lieffers JR, McCargar LJ, et al. Prevalence and clinical implications of sarcopenic obesity in patients with solid tumours of the respiratory and gastrointestinal tracts: a population-based study. *Lancet Oncol*. 2008;9(7):629–635. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0
48. Martin L, Birdsell 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. *J Clin Oncol*. 2013;31(12):1539–1547. doi: 10.1200/JCO.2012.45.2722
49. Popuri K, Cobzas D, Esfandiari N, et al. Body composition assessment in axial ct images using fem-based automatic segmentation of skeletal muscle. *IEEE Trans Med Imaging*. 2016;35(2):512–520. doi: 10.1109/TMI.2015.2479252
50. Park J, Gil JR, Shin Y, et al. Reliable and robust method for abdominal muscle mass quantification using CT/MRI: an explorative study in healthy subjects. *PLoS One*. 2019;14(9):e0222042. doi: 10.1371/journal.pone.0222042
51. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magn Reson Imaging*. 2012;30(9):1323–1341. doi: 10.1016/j.mri.2012.05.001
52. Burns JE, Yao J, Chalhoub D, et al. A machine learning algorithm to estimate sarcopenia on abdominal CT. *Acad Radiol*. 2020;27(3):311–320. doi: 10.1016/j.acra.2019.03.011
53. Blanc-Durand P, Schiratti JB, Schutte K, et al. Abdominal musculature segmentation and surface prediction from CT using deep learning for sarcopenia assessment. *Diagn Interv Imaging*. 2020;101(12):789–794. doi: 10.1016/j.diii.2020.04.011
54. Graffy PM, Liu J, Pickhardt PJ, et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br J Radiol*. 2019;92(1100):20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
55. Ackermans LL, Volmer L, Wee L, et al. Deep learning automated segmentation for muscle and adipose tissue from abdominal computed tomography in polytrauma patients. *Sensors (Basel)*. 2021;21(6):2083. doi: 10.3390/s21062083
56. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes Computer Sci*. 2015:234–241. doi: 10.1007/978-3-319-24574-4_28
57. Shelhamer E, Long J, Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 2017;39(4):640–651. doi: 10.1109/tpami.2016.2572683
58. Kanavati F, Islam S, Arain Z, et al. Fully-automated deep learning slice-based muscle estimation from CT images for sarcopenia assessment. *Clin Radiol*. 2022;77(5):e363–e371. doi: 10.1016/j.crad.2022.01.036
59. Kim DW, Kim KW, Ko Y, et al. Assessment of myosteotosis on computed tomography by automatic generation of a muscle quality map using a web-based toolkit: feasibility study. *JMIR Med Inform*. 2020;8(10):e23049. doi: 10.2196/23049
60. Dong X, Dan X, Yawen A, et al. Identifying sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer patients using skeletal muscle CT radiomics and machine learning. *Thorac Cancer*. 2020;11(9):2650–2659. doi: 10.1111/1759-7714.13598
61. Graffy PM, Liu J, Pickhardt PJ, et al. Deep learning-based muscle segmentation and quantification at abdominal CT: Application to a longitudinal adult screening cohort for sarcopenia assessment. *Br J Radiol*. 2019;92(1100):20190327. doi: 10.1259/bjr.20190327
62. Petraikin AV, Artyukova ZR, Nizovtsova LA, et al. Analysis of the effectiveness of implementing screening of osteoporosis. *Health Care Manager*. 2021;(2):31–39. (In Russ). doi: 10.21045/1811-0185-2021-2-31-39
63. Morozov SP, Vladzimirsky AV, Ledikhova NV, et al. Moscow experiment on Computer Vision in radiology: Involvement and participation of Radiologists. *Doctor Inform Tech*. 2020;(4):14–23. (In Russ). doi: 10.37690/1811-0193-2020-4-14-23
64. Senyukova OV, Pyatkovskiy SA, Petraikin AV, et al. Automatic segmentation of muscle and adipose tissue on CT images for assessing human body composition and diagnosing sarcopenia. In: Conference “Information Technologies for personalized medicine” with a block of the summer school for young scientists, November 4, 2021: collection of abstracts. Moscow; 2021. P. 41. (In Russ). doi: 10.14341/cbaipm-2021-41

ОБ АВТОРАХ

*** Сморчкова Анастасия Кирилловна;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>;

eLibrary SPIN: 4345-8568; e-mail: a.smorchkova@npcmr.ru

Петрайкин Алексей Владимирович, д.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>;

eLibrary SPIN: 6193-1656; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Семёнов Дмитрий Сергеевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Шарова Дарья Евгеньевна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;

eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

AUTHORS' INFO

*** Anastasia K. Smorchkova, MD;**

address: 24/1 Petrovka st., Moscow, 127051, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9766-3390>;

eLibrary SPIN: 4345-8568; e-mail: a.smorchkova@npcmr.ru

Alexey V. Petraikin, MD, Dr. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1694-4682>;

eLibrary SPIN: 6193-1656; e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

Dmitry S. Semenov, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4293-2514>;

eLibrary SPIN: 2278-7290; e-mail: d.semenov@npcmr.ru

Daria E. Sharova, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5792-3912>;

eLibrary SPIN: 1811-7595; e-mail: d.sharova@npcmr.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author