Федеральное медико-биологическое агентство Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна»
Медико-биологический университет
инноваций и непрерывного образования

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
Медико-биологического
университета инноваций и
непрерывного образования
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ
им. А.И. Бурназяна ФМБА
России
Олесова В.Н.

ОДОБРЕНО
Ученым советом
Медико-биологического
университета инноваций и
непрерывного образования
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ
им. А.И. Бурназяна
ФМБА России

Башков А.Н., Тихонова О.А., Ионова Е.А.,
Шейх Ж.В., Смолев Д.М., Дунаев А.П., Попов М.В.

МЕТОДЫ КЛИНИЧЕСКОЙ, ЛУЧЕВОЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ САРКОПЕНИИ В ПРАКТИЧЕСКОЙ И НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Учебное пособие для врачей-рентгенологов, врачей ультразвуковой диагностики, врачей общей практики

Москва, 2022

УДК 616.74+617-07
ББК 53.4
М 54

Башков А.Н., Тихонова О.А., Ионова Е.А., Шейх Ж.В., Смолев Д.М., Дунаев А.П., Попов М.В. Методы клинической, лучевой и инструментальной диагностики саркопении в практической и научной работе: Учебное пособие для врачей-рентгенологов, врачей ультразвуковой диагностики, врачей общей практики. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022. – 52 с.

Рецензенты:
Шипулева И.В. – заведующая кабинетом магнитно-резонансного томографа ГБУЗ «Московская городская онкологическая больница №62» Департамента здравоохранения города Москвы, кандидат медицинский наук.
Кореньков В.В. – доцент кафедры терапии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук.

Авторы:
Башков А.Н. – ассистент кафедры лучевой и радиоизотопной диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук;
Ионова Е.А. – заведующая кафедрой лучевой и радиоизотопной диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, доктор медицинских наук;
Тихонова О.А. – заведующая лабораторией мультидисциплинарных клинических исследований МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук;
Шейх Ж.В. – профессор кафедры лучевой и радиоизотопной диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, доктор медицинских наук;
Смолев Д.М. – ассистент кафедры лучевой и радиоизотопной диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук;
Дунаев А.П. – врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии ГБУ здравоохранения города Москвы «Московская городская онкологическая больница № 62 Департамента здравоохранения города Москвы», кандидат медицинский наук;
Попов М.В. – врач-хирург отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, кандидат медицинских наук.

В настоящем пособии кратко освещена саркопения как заболевание мышечной ткани, ее этиология, патогенез, социально-экономическое значение и представлен современный диагностический подход в клинической работе и проведении научных исследований. Пособие предназначено для врачей-рентгенологов, врачей ультразвуковой диагностики, герантологов, эндокринологов и врачей других специальностей, интересующихся данной проблемой.

ISBN 978-5-93064-221-6

© ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2022
© Башков А.Н., Ионова Е.А., Тихонова О.А., Шейх Ж.В., Смолев Д.М., Дунаев А.П., Попов М.В., 2022

Содержание

Введение 4
Глава 1 Саркопения 6
1.1 Понятие о гериатрических синдромах 6
1.2 Этиология и патогенез 7
1.3 Критерии диагностики саркопении 8
Глава 2 Историческая справка о развитии инструментальных методов оценки мышечной ткани 13
2.1 Первые попытки оценки мышечной массы, рождение представления об основных тканевых компонентах тела человека 13
2.2 Рентгенография и компьютерная томография 14
2.3 Магнитно-резонансная томография 15
2.4 Двухфотонная рентгеновская абсорбциометрия 16
2.5 Биоимпедансный анализ 16
2.6 Ультразвуковая диагностика 17
Глава 3 Методика определения индекса мышечной массы по данным компьютерной томографии 19
Глава 4 Методика определения индекса мышечной массы по данным магнитно-резонансной томографии 25
Глава 5 Методика определения мышечной массы по данным двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии 27
Глава 6 Методика оценки мышечной массы и качества мышечной ткани по данным ультразвуковой диагностики 31
Глава 7 Методика оценки мышечной массы с помощью биоимпедансного анализа 35
Приложение А Пример использования индекса мышечной массы, определенного по данным компьютерной томографии, в научной работе 37
Тестовые вопросы для самоконтроля 41
Ситуационные задачи 44
Библиография 45
Перечень сокращений 50

Введение

Термин «саркопения» (С.) впервые был предложен американским ученым I. Rosenderg в 1989 году на конференции в Нью-Мехико, посвященной вопросам старения. Он описал это состояние как потерю скелетной мышечной массы у пожилых людей. В дальнейшем научное сообщество приложило много усилий, чтобы лучше охарактеризовать этот феномен. В настоящее время С. уже рассматривается не только как потеря мышечной массы, но и снижение силы, функции и признано отдельной нозологией в международной классификации болезней (МКБ-10) [1,2].

В 2010 г. Европейская рабочая группа по саркопении у пожилых людей (EWGSOP) рассмотрела вопросы диагностики и лечения пациентов с С. [3]. В 2018 году был опубликован обновленный консенсусный документ, в котором основное внимание уделено качественным и количественным характеристикам скелетной мышечной ткани и предложен пересмотренный диагностический алгоритм [4].

В дополнение к рекомендациям рабочих групп все большее количество публикаций за последнее десятилетие подчеркивает глобальное внимание к этому заболеванию. Это, безусловно, связано с прогрессивным старением населения мира и тяжелыми последствиями, сопровождающими потерю мышечной массы [5].

Что касается процесса старения, то в 2019 году Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) подсчитала, что число людей старше 60 лет вырастет на 56% в 2030 году, с 962 миллионов до 1,4 миллиарда [6].

Хотя многие исследования имеют тенденцию фокусироваться на диагностике С. у пожилых людей, тем не менее есть данные о высоком риске неблагоприятных клинических событий при этом заболевании и в среднем возрасте [7]. Согласно одному из мета-анализов, распространенность С. среди пожилых людей мужского и женского пола составляет 11% и 9%, но она увеличивается до 23% и 24% у госпитализированных больных, а также до 51% и 31% в домах престарелых соответственно [8].

Уже в 2018 году ВОЗ обратила внимание на важность мышечной массы как ключевого элемента благополучия пожилых людей. В частности, доказана связь между мышечной массой и сохранением когнитивных функций [9]. Проспективные исследования продемонстрировали, что потеря мышечной массы приводит к неблагоприятным исходам, включая падения, инвалидность и несчастные случаи. В итоге возникает порочный круг, усугубляемый процессом старения, при котором потеря силы вызывает трудности с обеспечением адекватного питания и постепенно снижает возможность самообслуживания [4]. Тяжелое социально-экономическое воздействие всех этих аспектов нельзя недооценивать. Таким образом, научное сообщество призывает не только к лечению и социальной поддержке пациентов с С., но также к точной и ранней диагностике.

К клиническим методам диагностики С. относятся тесты, позволяющие определить мышечную силу (тест «кистевого хвата» и «подъем со стула»),

а также оценивающие физическую работоспособность (скорость ходьбы, тест ходьбы на 400м, тест TUG (timed-up-and-go)) [4].

С помощью опросника SARC-F, который включает в себя 5 вопросов, на которые пациент самостоятельно дает ответы, можно проводить скрининг С. и выявить пациентов с высоким риском развития осложнений [4].

В диагностике С. рентгенологические методы визуализации играют ключевую роль. Двухфотонная рентгеновская абсорбциометрия (ДРА), основанная на различном поглощении рентгеновских лучей низкой и высокой энергии различными компонентами тела, первоначально применялась для измерения минеральной плотности костей, но в настоящее время все чаще используется для оценки мышечной массы [10]. Важность этой методики также подтверждается тем фактом, что она рекомендована для клинической практики последним консенсусным документом EWGSOP [4]. Компьютерная томография (КТ), основанная на ослаблении рентгеновских лучей, позволяет также проводить количественный анализ мышечной массы [11,12]. Диагностическая ценность методов, не связанных с ионизирующим излучением, таких как биоэлектрический импеданс (БЭИ), ультразвуковое исследование (УЗИ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), широко оценивалась и продемонстрировала достаточную информативность. Тем не менее, согласно текущим рекомендациям, последний метод по-прежнему рекомендуется в основном для научных исследований [4,13,14].

Целью настоящих методических рекомендаций является описание методов оценки скелетных мышц с акцентом на инструментальной диагностике.

Глава 1
Саркопения

1.1 Понятие о гериатрических синдромах

Саркопения – это прогрессирующее и генерализованное заболевание мышечной ткани, которое ассоциировано с увеличением вероятности неблагоприятных событий, таких, как падения, переломы, малоподвижность и смертность. Если в определении С. в 2010 г. в рамках первого европейского консенсуса ключевая роль отводилась снижению мышечной массы, то при втором консенсусе в 2018 г. – снижению мышечной силы, потому что этот показатель больше коррелирует с вероятностью развития различных осложнений [4]. В частности, потеря мышечной силы происходит как минимум в 2-4 раза быстрее, чем потеря мышечной массы [17]. Например, у относительно здоровых пожилых людей, наблюдаемых в течение 3 лет, годовая скорость снижения силы ног составляла примерно 3-4%, тогда как годовая скорость потери мышечной массы нижних конечностей – примерно 1% по данным двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии [15].

Следует кратко остановиться на часто встречаемых в литературе гериатрических синдромах, симптомы которых имеют много общих черт. В частности, саркопения, синдром «хрупкости» (старческая астения), кахексия и мальнутриция (синдром недостаточности питания) широко распространены у пожилых людей и связаны с повышенным риском неблагоприятных исходов, таких как снижение мобильности, переломы, увеличение продолжительности пребывания в больнице, повторная госпитализация, заболеваемость и смертность [16]. У стационарных больных опасность этих синдромов особенно высока в связи с остротой основного заболевания, малоподвижностью и анорексией. Имеются сведения о распространенности указанных синдромов у 50% и более пожилых пациентов, однако, с большими различиями между исследованиями, не в последнюю очередь из-за различных диагностических критериев [17].

Одним из центральных аспектов всех выше отмеченных гериатрических синдромов является редукция в различной степени основных тканей тела (рис. 1). В то время как при саркопении, синдроме «хрупкости» и кахексии потеря скелетных мышц имеет решающее значение, то при недоедании уменьшаются как мышечная, так и жировая массы. Помимо этих изменений в составе и соотношений основных тканей тела, все синдромы, за исключением недостаточности питания, характеризуются специфическими дополнительными признаками. Саркопения и синдром «хрупкости» проявляются снижением силы и функциональных свойств мышц. Синдром «хрупкости» вдобавок характеризуется развитием у пациента чувства изнеможения, низкой физической активностью. Для кахексии свойственны снижение силы, утомляемость, слабость, анорексия, биохимические нарушения (снижение в крови уровня гемоглобина, альбумина, повышение уровня С-реактивного белка) [16,17].

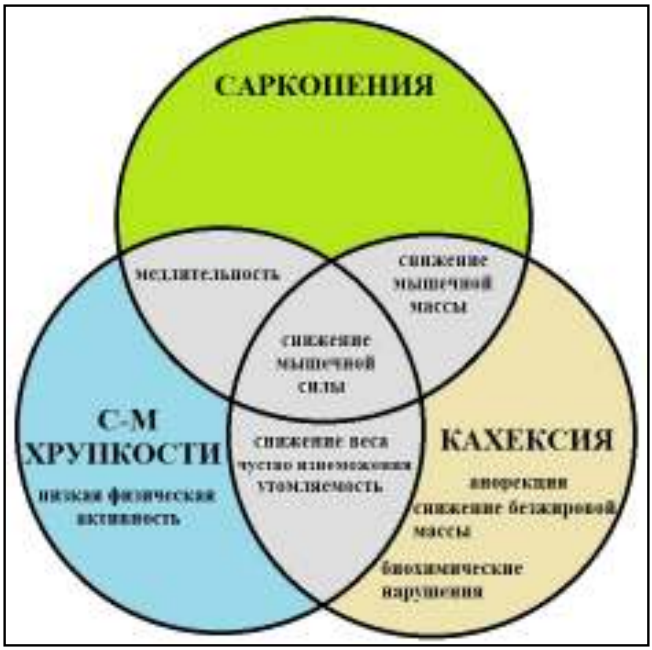

Рисунок 1 – Перекрест между гериатрическими синдромами

1.2 Этиология и патогенез

Выделяют первичную С., связанную только с процессами старения, и вторичную – как следствие других заболеваний и патологических состояний (онкологической патологии, сахарного диабета, хронической сердечной недостаточности, гиподинамии и т.д., а также вследствие приема некоторых лекарственных препаратов) [18]. У части пациентов можно определить единственную причину развития С. В то же время у многих пожилых лиц выявляется мультифакториальная этиология ее возникновения [19]. Таким образом, С. – это мультиэтиологичный синдром со сложным пока еще недостаточно изученным патогенезом. Однако уже известно, что на развитие С. значимое влияние оказывает снижение уровня гормона роста, инсулиноподобного фактора роста-1, половых гормонов, витамина D, инсулинорезистентность. Также активно изучаются такие факторы, как особенности образа жизни (качество питания, физическая активность, иммобилизация) и пищевой статус [18].

Исследования последних лет показали, что скелетная мышца вырабатывает биорегуляторы, действующие не только паракринно и юкстакринно, но и эндокринно, то есть дистантно за счет распространения по организму с кровотоком. Клетками скелетных мышц выделяются специальные пептиды – миокины, которые оказывают системное воздействие на метаболизм (рис. 2) [20].

С целью профилактики и лечения С. используются методы как немедикаментозной, так и лекарственной терапии. В качестве основных профилактических мероприятий применяются лечебная физкультура и нормализация питания с

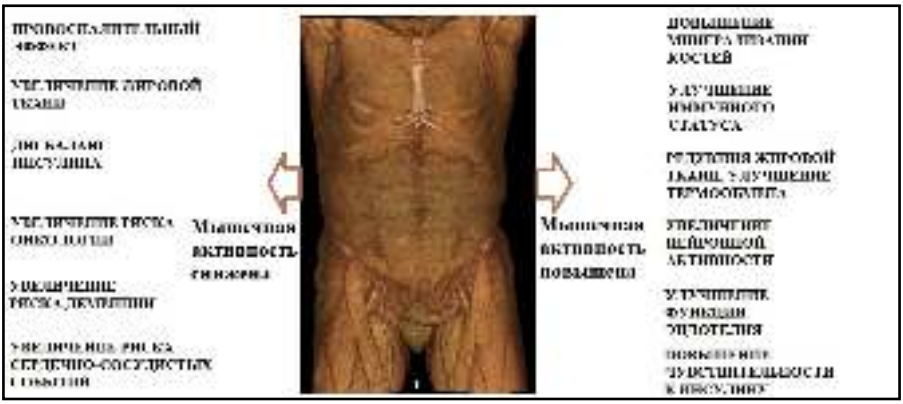

Рисунок 2 – Системные эффекты, которые оказывают скелетные мышцы, в зависимости от их функционального состояния

достаточным поступлением белка и витамина D. В течение последних лет несколько новых лекарственных препаратов для лечения саркопении находятся на различных стадиях клинических испытаний [20].

1.3 Критерии диагностики саркопении

В связи с тем, что в настоящее время большее клиническое и прогностическое значение при С. принадлежит снижению мышечной силы, то это существенно упрощает диагностику этого заболевания, учитывая простоту и доступность способов ее оценки. В тоже время определение мышечной массы требует применения инструментальных методов. Оценку качества мышечной ткани в клинической практике провести крайне затруднительно. Еще один важный параметр, физическая работоспособность, также является одним из критериев диагностики С. (таблица 1) [4].

Таблица 1 – Критерии диагностики саркопении

Критерий	**Саркопения**		
	Диагноз вероятен	**Диагноз подтвержден**	**Тяжелая саркопения**
Мышечная сила	↓	↓	↓
Мышечная масса	N	↓	↓
Физическая работоспособность	N	N	↓

В практической и научной деятельности возможно применение различных способов диагностики С. Их выбор зависит от степени мобильности пациента, доступности различных аппаратов и цели обследования (таблица 2) [21].

Таблица 2 – Способы скрининга и диагностики саркопении

Оцениваемый критерий	Цель обследования	
	Практическая работа	**Научная деятельность**
скрининг	опросник SARC-F*	опросник SARC-F
мышечная сила	динамометрия	динамометрия
	подъем со стула	подъем со стула
мышечная масса	ДРА	ДРА
	БЭИ	МРТ (все тело)
	КТ, МРТ (L_{III})	КТ, МРТ (середина бедра, L_{III})
		МР-спектроскопия
физическая работоспособность	тест «встань и иди»	тест «встань и иди»
	тест 400-метровой ходьбы	тест 400-метровой ходьбы
	SPPB-тест**	SPPB-тест

* - аббревиатура от Strength, Assistance with walking, rising from chair, Climbing stairs and Falls
** - аббревиатура от short physical performance battery

Диагностический алгоритм при обследовании пациента, согласно рекомендациям рабочей группы европейского консенсусу от 2018г., начинается с опросника SARC-F, который включает в себя 5 вопросов [22]. Ответы на них соответствуют определенному баллу. При наборе 4 и более баллов необходимо дальнейшее обследование в связи с риском С. (таблица 3).

Таблица 3 – Опросник SARC-F для скрининга саркопении

Параметр	Вопрос	Результат – балл
сила	насколько вам тяжело поднять и удержать груз весом 4-5 кг?	совсем не тяжело – 0 немного тяжело – 1 очень тяжело или не могу поднять – 2
помощь при ходьбе	насколько тяжело вам пройти по комнате?	совсем не тяжело – 0 немного тяжело – 1 очень тяжело, приходится использовать вспомогательные средства или не могу пройти – 2
подъем со стула	насколько тяжело вам подняться со стула или кровати?	совсем не тяжело – 0 немного тяжело – 1 очень тяжело или не могу встать без посторонней помощи – 2
подъем по лестнице	насколько тяжело вам пройти лестничный пролет в 10 ступенек?	совсем не тяжело – 0 немного тяжело – 1 очень тяжело или не могу пройти – 2
падение	сколько раз вы упали за последний год?	ни разу – 0 1-3 падений – 1 4 и более падений – 2

При наличии риска С. на следующем этапе проводится ***оценка мышечной силы***. Самым доступным и дешевым способом является динамометрия – тест «кистевого захвата» (рис. 3). При этом пациент занимает удобное для него положение, держит рукоятку прибора в одной руке, согнутой в локте под прямым углом, сжимает динамометр с максимальным изометрическим усилием, которое поддерживается в течение приблизительно 5 с. Проводится 3 попытки, выбирается лучшее значение. Мышечная сила считается сниженной при показаниях динамометра у женщин < 16 кг, у мужчин < 27 кг.

Рисунок 3 – Кистевой динамометр ДМЭР-120

Следует учитывать, что снижение мышечной силы отмечается преимущественно в мышцах ног, а не рук, поэтому при диагностике С. следует обязательно использовать не только кистевую динамометрию, но и тест «встать со стула», по результатам которого оценивается функция четырехглавой мышцы бедра [23]. Тест «встать со стула» предполагает измерение времени, в течение которого пациент переходит из положения сидя в положение стоя и обратно (всего 5 раз), при этом не помогая себе руками. Если выполнение данного упражнения длилось > 15 с или больной не мог подняться со стула без помощи рук, то сила квадрицепсов считалась сниженной [23].

Оценка мышечной массы может проводится на различных аппаратах, результаты которых стандартизируются с учетом роста, веса пациента или индекса массы тела [4]. Различными методами проводится измерение всех скелетных мышц (TBM – total body muscle mass), мышц конечностей (ASM – appendicular skeletal muscle mass) или поперечная площадь мышц определенной области. Хотя КТ и МРТ являются золотым стандартом неинвазивной оценки мышечной массы, их использование в практике может быть затруднено из-за организационных, временных и финансовых

затрат. Более доступным методом является ДРА, который позволяет определить индексы TBM или ASM, однако, результаты аппаратов различных производителей не согласуются между собой [24]. Преимуществом ДРА являются длительность исследования всего несколько минут, а также воспроизводимость результатов, полученных на одном и том же аппарате. Недостатком считается отсутствие портативности оборудования, оно располагается стационарно, что не позволяет проводить инструментальную диагностику максимально приближенно к пациенту. Также на результаты исследования может повлиять степень гидратации больного. БЭИ также позволяет оценивать индексы TBM и ASM на основании измерения электрической проводимости тела. Сегодня БЭИ широко используется при изучении состава человеческого тела, поскольку этот метод доступен, относительно недорогой, а анализ требует минимального участия персонала даже при использовании систем исследовательского класса. Однако, метод предоставляет результаты исследования на основе специального уравнения, параметры которого откалиброваны с помощью ДРА для конкретной популяции. Таким образом, результаты обследования зависят не только от производителя оборудования, но и обследуемой группы больных (возраст, пол, этническая принадлежность и др.). В тоже время оборудование портативно и широко доступно. На результаты измерений, как и при ДРА, может повлиять гидратация пациента.

Исследование физической работоспособности представляет собой оценку локомоторной функции и может включать в себя измерение скорости ходьбы, тест «встань и иди», краткую батарею тестов физической ак-

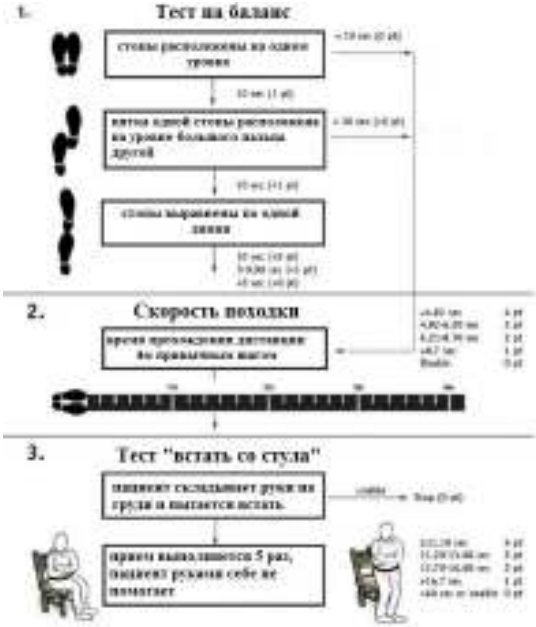

Рисунок 4 – Компоненты теста SPPB и критерии оценки

тивности (SPPB – the Short Physical Performance Battery) (рис. 4). Следует отметить, что некоторые тесты выполнить затруднительно или невозможно, если пациент страдает деменцией, заболеваниями опорно-двигательной системы.

За каждый тест начисляется соответствующее число баллов. Количество баллов SPPB ≤ 8 свидетельствует о плохой физической работоспособности.

Для выполнения теста «встань и иди» пациенты должны встать со стула, пройти 3 м, затем вернуться и сесть обратно. Выполнение данного теста в течение ≥ 20 с (по секундомеру) является показателем сниженной мышечной функции.

Скорость походки определяется при прохождении больным дистанции 4 м с привычной скоростью. Показатель ≤ 0,8 м/с считается сниженным. Тест 400-метровой ходы заключается в том, что пациент проходит 20 кругов по 20 м каждый, стараясь наращиваться скорость с каждым кругом, при этом допускается две остановки. Тест считается отрицательным, если пациенту потребовалось на прохождение дистанции ≥ 6 мин или он вовсе не смог завершить испытание.

Глава 2
Историческая справка о развитии инструментальных методов оценки мышечной ткани

Хотя мышечная ткань и является одной из самых существенных составных частей тела человека, тем не менее ее количественная и качественная оценка затруднена по сравнению с жировой тканью, минеральным составом костной ткани и жидкими средами организма. Сейчас, когда доступны различные инструментальные способы оценки скелетных мышц, трудно себе представить, насколько сложно было решать такую задачу раньше.

2.1 Первые попытки оценки мышечной массы, рождение представления об основных тканевых компонентах тела человека

Первым событием, которое инициирует историческое развитие количественной оценки мышечной массы, является выделение из экстракта мяса французским химиком Michel-Éugène Chevreul в 1835 г. вещества, которое он назвал креатинин (с греческого языка обозначает плоть, мясо) [25]. 20 лет спустя эстафету продолжил Otto Folin, который разработал чувствительный метод измерения коэффициента креатинина [26]. Он заметил, что человек выделяет относительно стабильное количество креатинина в моче за определенный промежуток времени на 1 кг массы тела. Эта явление отражает наличие корреляции между продукцией креатинина и массой тела. Max Bürger, наблюдавший пациентов с заболеваниями мышечной системы в Киле, первым определил значение удельного коэффициента выделения креатинина в 1919 г. как 1 г в день на 22,9 кг массы тела [27]. К 1928 г. A. Hahn и G. Meyer установили природу креатинина, как стабильного вещества, формирующегося при неферментном распаде креатина. 98 % последнего находится в мышечной ткани в относительно постоянной концентрации [28]. К концу 1960-х гг. значение было уточнено и составило 1 г на 20 кг веса. Однако мочу довольно трудно собирать в течение нескольких дней, что было необходимо для идеального подсчета согласно имевшейся методике [29]. Это ограничение заставило исследователей искать новые альтернативные возможности, одно из которых основывалось на использовании меченного изотопом креатина в начале 1970-х гг. R. Kreisberg и соавт. использовали в своих работах креатин, меченный ^{14}C [30]. Все эти исследования в целом объединяет отсутствие референсного метода для определения мышечной массы in vivo. Примечательно, что только к 1996 г. формально доказана валидность концепции креатин-креатинин при оценке мышечной массы. Z.M. Wang и др. провели работу в Колумбийском университете, которая заключалась в том, что они собирали мочу у 12 здоровых взрослых людей, которым затем провели КТ всего тела. В итоге было подтверждена строгая корреляция между концентрацией креатинина в моче и объемом мышечной массы (r=0,92) [31].

Jindřich Matiegka в своем письме к известному антропологу Aleš Hrdlička 7 мая 1920 г. пишет следующие слова: «Я шлю мое предложение по учреждению комиссии, которая выработает метод антропометрической оценки. Мое предложение обусловлено тем, что это обязанность антрополога создать метод для оценки физических качеств человека по аналогии с методом, который вырабо-

тан для тестирования ментальных способностей. Ментальные и физические качества вместе определяют работоспособность и ее эффективность» [32]. Год спустя J. Matiegka опубликовал основополагающую статью, которая описывает антропометрическую оценку мышечной массы и трех других функциональных компонентов организма человека [33]. Система J. Matiegka рассматривает вес как сумму четырех компонентов:

$$\mathbf{O + D + M + R,}$$

где O – вес скелета (кости), D – вес кожи и подкожного жира, M – вес скелетных мышц, R – оставшаяся масса. Используя измерительные приборы, которые были довольно примитивными и грубыми по современным представлениям, J. Matiegka разработал свою модель оценки, основанную на росте, ширине тела и конечностей, толщине складок кожи, а также вычислил площадь поверхность тела.

Такие известные в настоящее время патологические состояния, как саркопения, кахексия, саркопеническое ожирение, все были описаны J. Matiegka как расстройства в рамках взаимосвязи между мышечно-скелетной массой и работоспособностью. Еще 70 лет потребовалось прежде, чем разработанные этим ученым антропометрические измерения и модели могли быть сопоставлены непосредственно с измерением мышечной массы на секции, либо с помощью КТ/МРТ [34].

После второй мировой войны в связи с активными работами в сфере ядерной энергии был предложен новый метод для определения содержания химических элементов K (калия) и N (азота) в организме человека [35]. S.H. Cohn в конце 70-х гг. исходя из гипотезы, что соотношение K и N в мышцах представляет собой константу равную 3,03 и 1,33 ммоль/г соответственно, представили уравнение для вычисления массы скелетных мышц [36]. В 80-е годы был разработан еще один метод определения мышечной массы с помощью 3-метилгистидина.

Конечно же, все вышеописанные методики не используются в наше время в связи со сложностями инструментального обеспечения, лучевой нагрузкой, необходимостью длительного сбора мочи. Но все эти разнообразные методики свидетельствуют о большом интересе исследователей на протяжении последних десятилетий в определении мышечной массы, с одной стороны очевидно представляющей собой значительный компонент тела, но с другой стороны трудно поддающейся количественной оценке.

2.2 Рентгенография и компьютерная томография

Открытие C.W. Rentgen X-лучей в 1895 г. в университете в Вюрцбурге, несомненно, является основой всей семьи методов лучевой диагностики, которые сегодня служат главным инструментом для оценки мышечной массы и тканевого строения тела [37]. Спустя 50 лет G. Stuart и его коллеги в Гарварде впервые применили X-лучи для оценки жира в конечностях и ширины мышц у детей [38]. Этот метод, получивший название радиограмметрии, получил широкое распространение среди исследователей. А уже через 30 лет в начале 70-х гг. появились все современные методы лучевой диагностики – КТ, МРТ и ДРА.

Первым методом, который получил признание в клинической практике, является КТ. Она впервые была применена G. Hounsfield на фирме EMI в Лондоне в 1971 г. [39]. G. Hounsfield опирался на разработки A. Cormack, работавшего в университете Кейптауна [40]. В отличие от двухплоскостной рентгенографии КТ позволяла получать аксиальные изображения, состоящих из пикселей, яркость которых соответствовала плотности ткани [41]. К 1975 г. G. Hounsfield построил КТ сканер для всего тела. В 1978-1979 гг. появились статьи, в которых описывалась возможность использования этого революционного метода визуализации для количественной оценки площади мышц определенной области [42]. Спустя несколько лет в 1984 г. K. Tokunaga в университете Осаки и S. Sjöström в университете Гётебурга впервые доложили об изучении строения всего тела с помощью КТ, включающего мульти-слайсы от «головы до пяток» [43, 44]. Акцент в этих ранних исследованиях был сделан на изучении распределения жировой ткани отдельных областей и всего тела. В настоящее время продолжается изучение возможностей применения КТ для оценки качества и получения функциональной информации о скелетной мышечной ткани.

2.3 Магнитно-резонансная томография

В 1938 г. I. Rabi проводил в Колумбийском университете исследования, посвященные магнитному резонансу ядра атома [45]. Эти работы были продолжены и углублены независимо друг от друга F. Bloch в Стэнфордском университете и E. Purcell в Гарвадском университете [46,47]. Их разработки касались базовой информации о химических и структурных свойствах молекул в жидкостях и солидных телах. P. Lauterbur в университете Нью-Йорка опубликовал в 1973 г. статью, в которой он описал возможность визуализации с помощью явления магнитного резонанса [48]. P. Mansfield из Ноттингемского университета в начале 1970-х гг. показал, что для визуализации необходимо создание градиентов магнитного поля с последующим математическим анализом [49]. R. Damadian завершил создание первого МРТ-сканера всего тела в 1977 году, и в начале 1980-х годов стали доступны аппараты для клиник [50]. M. Foster и его коллеги, работая с ранним прототипом сканера в Абердинском университете, в 1984 году сообщили о последовательностях, которые хорошо отличали жировую и мышечную ткани [51]. К 1991 г. R. Ross и его коллеги из университета Квинс в Кингстоне показали хорошее соответствие между количественной оценкой жировой ткани всего тела с помощью многосрезовой МРТ и КТ у крыс [52]. Затем последовали эксперименты на трупах и исследования различных областей тела человека. В середине 1990-х гг. проводилась МРТ людям с целью количественной оценки как жировой ткани всего тела, так и массы скелетных мышц [53, 54]. Два швейцарских ученых, K. Wüthrich и R. Ernst, внесли дополнительный вклад в эту область своими новаторскими исследованиями магнитного резонанса, которые способствовали химическому анализу мышечной и других тканей in vivo [55]. Магнитно-резонансная спектроскопия сегодня используется как средство оценки качества скелетных мышц, особенно при исследовании таких компонентов, как интрамиоцеллярные липиды.

Глубокий вклад в развитие методов визуализации, особенно КТ и МРТ, был удостоен десятью Нобелевскими премиями: C.W. Rentgen (1901 г.), I. Rabi (1944 г.), F. Bloch и E. Purcell (1952 г.), G. Hounsfield и A.M. Cormack (1979 г.)., R.R. Ernst (1991 г.), P. Lauterbur и P. Mansfield (2003 г.), K. Wüthrich (2002 г.).

2.4 Двухфотонная рентгеновская абсорбциометрия

До разработки в 1963 г. J. Cameron в Университете Висконсина однофотонной абсорбциометрии (ОА) минеральную плотность костей (МПК) оценивали с помощью обычных рентгеновских лучей [56]. Метод ОА позволял определить МПК в запястье, где количество мягких тканей минимально, с помощью фотонов изотопа ^{125}I. Так как помимо костей кожа, жировая ткань и скелетные мышцы также приводят к ослаблению фотонов, то осевые участки скелета (позвоночник, бедро) не могли быть достоверно оценены на наличие остеопороза. Эта проблема была решена в 1970 г. R.B. Mazess и его коллегами в Университете Висконсина, которые предложили двухфотонный метод «отделения» мягких тканей от костей с использованием двух источников изотопов [57]. Новый подход включал разграничение мягких тканей на нежировой и жировой компоненты с учетом различного поглощения ими фотонов двух энергий [58]. Первые системы двухфотонной абсорбциометрии всего тела с использованием рентгеновского излучения (40-47 kV и 70-80 kV) появились в медицинских учреждениях в начале 1980-х гг. Это повысило разрешение, точность и значительно сократило время сканирования. Более поздние инновации, заменяющие прямолинейное сканирование веерным лучом, еще больше сократили время исследования до одной минуты [59, 60]. В 1992 г. N.J. Fuller сообщил о методе оценки массы скелетных мышц конечностей. Подход основывался на наблюдении, что большая часть измеренной при ДРА «сухой» массы приходится на скелетные мышцы и, в частности, около 50% на конечности (аппендикулярная масса) [60]. Таким образом, появилась возможность заниматься диагностикой С. В 2002 г. J. Kim и его коллеги впервые сообщили о высокой корреляции измеренной по данным МРТ общей массе скелетных мышц и индексом аппендикулярной скелетной массы по результатами ДРА [61].

2.5 Биоимпедансный анализ

Биоимпедансный анализ (БИА) был впервые применен в 1950-х и 1960-х гг. E.C. Hoffer, J. Nyboer и A. Thomasset [62]. Суть метода заключается в том, что при пропускании через конечность слабого переменного тока результирующая проводимость отражает особенности пройденных тканей. Мягкие ткани, богатые жидкостью и электролитами, особенно скелетные мышцы, обладают высокой проводимостью по сравнению с тканями с низкой гидратацией, такими как кости. Все системы БИА используют эти тканеспецифические различия проводимости для количественного определения таких тканей, как скелетные мышцы и жировая ткань.

Существуют различные конструкции систем, которые используют от одной до нескольких частот, контактные или гелевые электроды и измеряют проводимость сегментов или всего тела. Все системы БИА измеряют импеданс и/или два его компонента – сопротивление и реактивное сопротивление. Эти электри-

ческие измерения, в свою очередь, могут быть включены в модели прогнозирования состава тела. Результаты БИА могут быть эмпирически откалиброваны с учетом данных ДРА [63]. Большинство коммерческих систем основаны на запатентованных уравнениях прогнозирования общего и регионарного объема жира и массы скелетных мышц. В дополнение к оценке массы скелетных мышц БИА также может обеспечить измерение качества и функции мышц. В частности, фазовый угол, представляющий собой соотношение между измеренным значением сопротивления и реактивного сопротивления, не только дает полезную информацию о составе тела, но также отражает функцию клеточной мембраны и имеет клиническое прогностическое значение [64]. C. Basile с соавт. сообщили о независимом влиянии силы хвата и массы скелетных мышц на фазовый угол, измеренный в когорте пожилых людей; низкий фазовый угол был связан со сниженной силой хвата [65]. Эти результаты позволяют предположить, что БИА может предоставить информацию о качестве скелетных мышц, которая в конечном итоге может иметь прогностическое значение.

2.6 Ультразвуковая диагностика

K. Dussik из Венского университета первым применил ультразвуковой метод в 1942 году при попытке диагностики опухоли головного мозга [66]. Восемь лет спустя G. Ludwig из Военно-морского исследовательского института США усовершенствовал ультразвуковой метод, который стал пригоден для диагностики наличия камней в желчном пузыре [67]. Пьезоэлектрический кристалл, размещенный в датчике, излучал высокочастотные звуковые волны. Направленные звуковые волны проходили через поверхность кожи, а затем отражались от нижележащих анатомических структур, включая скелетные мышцы и поверхность костей. Возвращающиеся звуковые волны или эхо-сигналы затем улавливались приемником, размещенным в датчике. Также самая фундаментальная технология используется и сегодня. Ультразвук в режиме А стал использоваться в 1960-х гг. в качестве альтернативы измерению кожной складки при оценке толщины слоя подкожной жировой ткани [68]. В системах с А-режимом амплитудная модуляция, соответствующая интенсивности возвращающихся эхо-сигналов, отображается на дисплее. Это позволяет визуализировать границы раздела различных тканей и тем самым измерять «толщину» жира и мышц в заранее определенных анатомических областях [69]. Следующее поколение аппаратов, работающих в В-режиме, обеспечивают отображение на дисплее яркости эхо-сигналов, возвращающихся к датчику. В результате получаются двухмерные изображения сечения жировой ткани, скелетных мышц и костных структур. Новые ультразвуковые системы обеспечивают трехмерные изображения скелетных мышц и, таким образом, позволяют измерить общий объем мышц [70]. K. Sanada впервые измерил толщину скелетных мышц у взрослых японцев с помощью ультразвука в нескольких анатомических областях и представил уравнение для прогнозирования объема скелетных мышц всего тела, используя МРТ в качестве эталона [71]. J.P. Loenneke предположил, что толщину скелетных мышц, измеренную в передней части бедра, можно использовать для отслеживания возрастных изменений объема мышц [72]. Современные технологии позволяют использовать ультразвук для оценки качества скелетных мышц [73].

В таблице 4 представлена сводная информация, характеризующая различные способы диагностики С.

Таблица 4 – Сводная информация о различных способах диагностики С.

Метод	**Измеряемый параметр**	**Преимущества**	**Недостатки**
Антропометрия	толщина кожной складки, окружность/диаметр части тела	неинвазивый, дешевый, применяется при обследовании больших групп людей	необходим навык работы, трудность измерения складок у пожилых, включение в измерения жировой ткани, у тучных людей трудно найти костные ориентиры
Метаболиты мочи	анализ суточной мочи на креатинин	неинвазивый, безопасный относительно дешевый	необходимость диеты, кооперация с пациентом
УЗИ	толщина и площадь мышц, эхогенность	неинвазивый, безопасный, доступный, применим для мониторинга	необходимо обучение, возможность ошибочной оценки из-за субъективности
БЭИ	импеданс, сопротивление, реактивное сопротивление, фазовый угол	безопасный, портативный, подходит для мониторинга	чувствителен к гидратации и недавней физической активности, данные специфичны для определенной популяции
ДРА	тощая масса	доступен, высокая точность, низкая лучевая нагрузка, исследование конечностей или всего тела	умеренная стоимость, ограничения по весу и размерам пациента, нельзя оценить качество мышечной ткани
КТ	площадь поперечного сечения мышц, плотность	высокая разрешающая способность, исследование определенной области или всего тела, оценка качества мышечной ткани	лучевая нагрузка, высокая стоимость, ограничения по весу и размерам пациента
МРТ	площадь поперечного сечения мышц	высокая разрешающая способность, оценка качества мышечной ткани	высокая стоимость, ограничения по весу и размерам пациента

Глава 3
Методика определения индекса мышечной массы по данным компьютерной томографии

Общепринято определение индекса мышечной массы (ИММ) на уровне позвонка L3. Метод состоит из двух этапов. Первый этап включает в себя определение площади поясничных мышц/скелетных мышц (PMA – psoas muscle area, SMA – skeletal muscle area, см^2), а второй – собственно вычисление ИММ (PMI, SMI) согласно ниже представленным формулам, где H – это рост пациента (м):

$$PMI_{L3} = \frac{PMA_{L3}}{H^2}$$

$$SMI_{L3} = \frac{SMA_{L3}}{H^2}$$

Как понятно из формулы, единица измерения ИММ – см^2/м^2.

Для корректного определения ИММ необходимо использовать программное обеспечение, позволяющее проводить сегментацию ткани на основании плотностного интервала. Для выделения мышечной ткани необходимо задавать интервал от -29HU до 150HU. Определение площади мышц с помощью инструмента оконтуривания использовать недопустимо, так как в этом случае в область интереса войдут и жировые прослойки между мышечными пучками (рис. 5). При этом чем более выражена саркопения, тем больше будет выражена атрофия мышцы и замещение ее жировой тканью. Режим сегментации исключает возможность включения в площадь измерения макроскопических включений жира, так как его плотность существенно меньше -29HU.

Последовательность определения PMA и SMA следующая (рис. 6,7):

- используется набор данных в нативную фазу сканирования;
- устанавливается аксиальный срез на уровне нижней замыкательной пластинки тела позвонка L_{III};
- в режиме сегментации программного обеспечения используется интервал плотности от -29 до +150HU для создания маски;
- с помощью соответствующего инструмента выделяются поясничные мышцы (PMA), площадь вычисляется автоматически;
- с помощью соответствующего инструмента выделяются все скелетные мышцы (поясничные, квадратные мышцы поясницы, выпрямляющие позвоночник, широчайшие мышцы спины, прямые, поперечные, наружные и внутренние косые мышцы живота), площадь вычисляется автоматически.

Рисунок 5 – Компьютерная томография, нативная фаза, аксиальная проекция на уровне позвонка L_{III}. Поясничные мышцы выделены с помощью инструмента оконтуривания

Рисунок 6 – Компьютерная томография, нативная фаза, аксиальная проекция на уровне позвонка L_{III}. Выделены поясничные мышцы (PMA)

Рисунок 7 – Компьютерная томография, нативная фаза, аксиальная проекция на уровне позвонка L_{III}. Выделены скелетные мышцы (SMA)

Выше представлены формулы для вычисления PMI и SMI, стандартизированные с учетом роста пациента. Учитывая определенные различия между населением различных регионов мира, которые могут влиять на частоту и скорость развития саркопении (образ жизни, питание, уровень развития здравоохранения), для них определены собственные пороговые значения ИММ (таблица 5).

Таблица 5 – Пороговые значения индекса мышечной массы по данным компьютерной томографии для диагностики саркопении у населения различных стран

Авторы, год	**Страна/ количество людей в выборке/ возраст**	**Определяемый индекс мышечной массы на уровне позвонка L3**	**Пороговое значение индекса мышечной массы, см²/м²**	
			мужчины	**женщины**
Brian A. и др., 2018	США/ более 700/ 18-40	SMI	45,4	34,4
Gulistan B. и др. 2021	Турция/ 482/ 18-40	PMI	4,62	2,66
		SMI	38,67	27,8
Hamaguchi и др., 2016	Япония/ 391/ 20-49	PMI	6,4	3,9
Hamaguchi и др., 2018	Япония/ 468/ 20-49	SMI	40,3	30,8
Kim и др., 2017	Южная Корея/ 234/ 20-39	PMI	5,9	4
Van der Werf и др., 2018	Западная Европа/ 300/ 20-60	SMI	44,6	34
Benjamin и др., 2018	Индия/ 275/ нет данных	SMI	36,54	30,21
Zhuang и др., 2016	Китай/ 937/ нет данных	SMI	40,8	34,9

На базе ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна впервые в России проведена аналогичная работа на основе медицинских данных 310 доноров фрагмента печени. Согласно национальным рекомендациям, потенциальные доноры печени должны обладать хорошими показателями физического и психического здоровья, таким образом, они являются оптимальными кандидатами для определения нормальных значений индекса мышечной массы. В таблице 6 представлены результаты исследования.

Таблица 6 – Пороговые значения индекса мышечной массы на уровне позвонка L_{III} для диагностики саркопении у населения России. M – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение

Статистические данные / Индекс мышечной массы на уровне L3	Женщины			Мужчины		
	M±SD	**M-2SD**	**2,5 процентиль**	**M±SD**	**M-2SD**	**2,5 процентиль**
PMI	4,8 ±1,2	**2,4**	**2,4**	7,7±2,4	**2,9**	**4,9**
SMI	40,8 ±6,2	**28,4**	**32,1**	54,2±8,0	**38,2**	**41,1**

В рекомендациях рабочей группы европейского консенсуса по саркопении (2018 г.) отмечено, что ИММ считается сниженным, если его значение меньше двух стандартных отклонений от среднего арифметического в референсной группе. Однако, распределение индексов у обследуемых здоровых лиц носит ненормальный характер. В связи с этим, в качестве порогового значения также определен 2,5 процентиль. На рисунке 8 представлен график, который демонстрирует сравнение пороговых значений ИММ в различных странах.

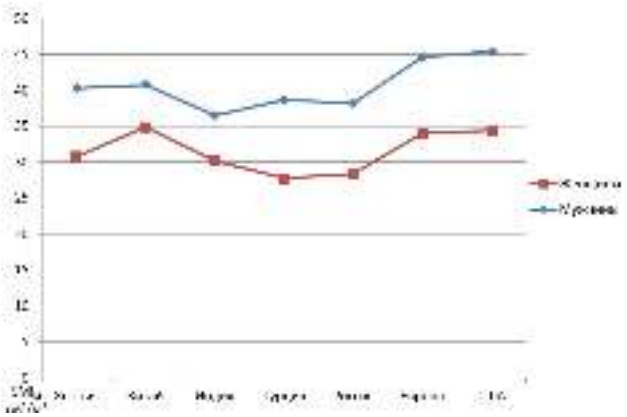

Рисунок 8 – Пороговые значения индекса мышечной массы на уровне позвонка L3 (SMI) у населения различных стран и регионов мира по данным компьютерной томографии

Как видно, разброс пороговых значений в различных регионах мира довольно широкий. В частности, для населения США по сравнению с Индией индекс SMI для мужчин больше на 24 %, а для женщин на 13,9 %. Пороговые значения SMI для населения России расположены ближе к странам Азии (Индия, Турция, Япония).

В целом ИММ может быть определен не только на уровне L3, но, например, и на уровне шейных, грудных позвонков, что зависит от цели исследования. Например, для оценки прогностического значения ИММ

у больных со злокачественными новообразованиями шеи целесообразно его определение в этой же области с привязкой к конкретному позвонку. В ФМБЦ им. А.И. Бурназяна также определены пороговые значения ИММ для диагностики С. на уровне позвонка Th_{XII}, что актуально в связи с большим количеством выполненных КТ исследований органов грудной клетки в период пандемии (таблица 7). По аналогии с уровнем L_{III} выделена площадь паравертебральных, широчайших мышцы спины (EMI – erector muscle index) и всех скелетных мышц на уровне середины тела позвонка Th_{XII} (SMI) (рис. 9,10).

Рисунок 9 – Компьютерная томография, нативная фаза, аксиальная проекция на уровне позвонка Th_{XII}. Выделены паравертебральные мышцы и широчайшие мышцы спины

Рисунок 10 – Компьютерная томография, нативная фаза, аксиальная проекция на уровне позвонка Th_{XII}. Выделены скелетные мышцы

Таблица 7 – Пороговые значения индекса мышечной массы на уровне позвонка Th_{XII}. M – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение

Статистические данные / Индекс мышечной массы на уровне L3	Женщины			Мужчины		
	M±SD	**M-2SD**	**2,5 процентиль**	**M±SD**	**M-2SD**	**2,5 процентиль**
PMI	4,8 ±1,2	**2,4**	**2,4**	7,7±2,4	**2,9**	**4,9**
SMI	40,8 ±6,2	**28,4**	**32,1**	54,2±8,0	**38,2**	**41,1**

Глава 4
Методика определения индекса мышечной массы по данным магнитно-резонансной томографии

Согласно рекомендациям европейского консенсуса по саркопении среди взрослого населения оценку мышечной массы по данным МРТ можно проводить на уровне середины бедра или на уровне позвонка L_{III} (по аналогии с определением PMI и SMI по данным КТ). Сегментация мышц на указанных уровнях может проводиться на аксиальных срезах на T1- или T2-взвешенных изображениях, так как жировая и мышечная ткани будут иметь различную интенсивность сигнала. Выделение мышечной ткани осуществляется с помощью подобранного порогового значения с визуальным контролем адекватности включения мышечной ткани в маску модели, при этом жировая ткань исключается из нее (рис. 11,12,13).

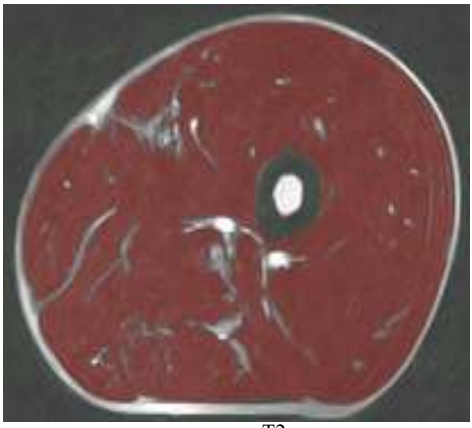

Рисунок 11 – Магнитно-резонансная томограмма, T2-взвешенная последовательность, уровень середины бедра. С помощью инструмента сегментации выделена площадь мышц

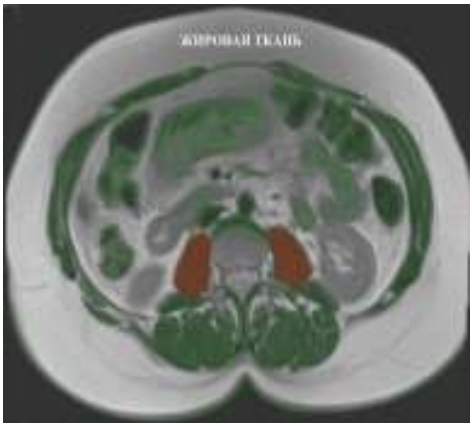

Рисунок 12 – Магнитно-резонансная томограмма, T2-взвешенная последовательность, уровень нижней замыкательной пластинки тела позвонка L_{III}. С помощью инструмента сегментации выделена площадь поясничных мышц

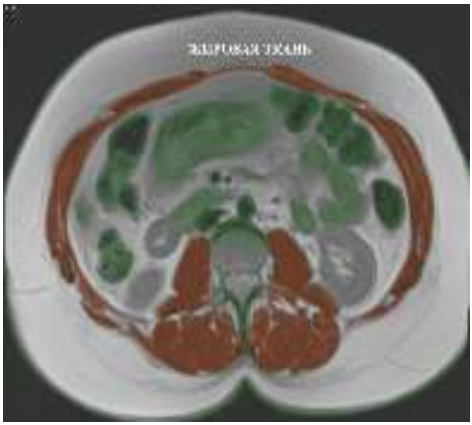

Рисунок 13 – Магнитно-резонансная томограмма, Т2-взвешенная последовательность, уровень нижней замыкательной пластинки тела позвонка L_{III}. С помощью инструмента сегментации выделена площадь скелетных мышц

Определение ИММ можно провести ретроспективно по данным МРТ брюшной полости или поясничного отдела позвоночника, которые априори включают позвонок L_{III}. При необходимости можно выполнить специальное исследование для получения одного аксиального среза на уровне позвонка L_{III} или середины бедра.

Пороговые значения для диагностики саркопении по данным МРТ такие же, как и полученные на основе данных КТ, так как результаты измерения площади скелетных мышц с помощью обеих модальностей конкордантны.

Пороговые значения ИММ для диагностики С., измеренные на уровне середины бедра, не определены, но результаты исследования могут быть использованы для создания прогностических моделей.

Глава 5
Методика определения мышечной массы по данным двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии

Ниже представлена последовательность проведения ДРА всего тела для определения мышечной массы.

Перед началом рабочего дня проводят ежедневную калибровку денситометра по специальному калибровочному фантому, прилагаемому к каждому аппарату. Процедура проводиться в автоматическом режиме, без участия оператора и занимает около 3-4 минут. На рисунке 14 показано рабочее положение фантома во время калибровки денситометра. Итогом ежедневной калибровки является калибровочный лист, подтверждающий точность работы аппарата.

Рисунок 14 – Положение фантома на столе денситометра при проведении ежедневой калибровки аппарата

Паспортные данные пациента записывают по форме, предложенной изготовителем аппарата. Полное заполнение всех пунктов позволит в дальнейшем избежать ошибок при повторных обследованиях, в том числе, для оценки динамики результатов исследования. В паспортной части требуется указать пол, дату рождения пациента и этническую группу (рис. 15). Данная информация определяет с какими референсными данными будут соотнесены результаты диагностики. Также в программу необходимо внести данные о росте и весе исследуемого, так как они влияют на алгоритм расчета (рис. 16).

Рисунок 15 – Рабочая станция денситометра. Заполнение паспортных данных, антропометрических показателей пациента перед исследованием

Рисунок 16 – Измерение роста и веса пациента перед исследованием

Исследование всего тела проводят в положении пациента лежа на спине в течение нескольких минут. Для того, чтобы шейки бедренных костей располагались параллельно поверхности стола, стопы пациента фиксиру-

ют в положении ротации внутрь с помощью приспособления для фиксации ног пациента. Из области сканирования следует убрать рентгенконтрастные предметы (любой металл, застежки, металлизированная нить, фольга, монеты и т. п.). На рабочей станции аппарата тело пациента подразделяется с помощью линий разметки на несколько регионов: руги, ноги, туловище и голова. Для каждой области подсчитывается количество жира, безжировой массы и костной ткани.

Лучевая нагрузка при исследовании всего тела очень низкая. Эффективная доза составляет около 0,003мЗв, что равноценно нагрузке, полученной от естественных источников радиации в течение одного дня на уровне моря.

Результаты исследования предоставляются в виде автоматически сформированного отчета (рис. 17).

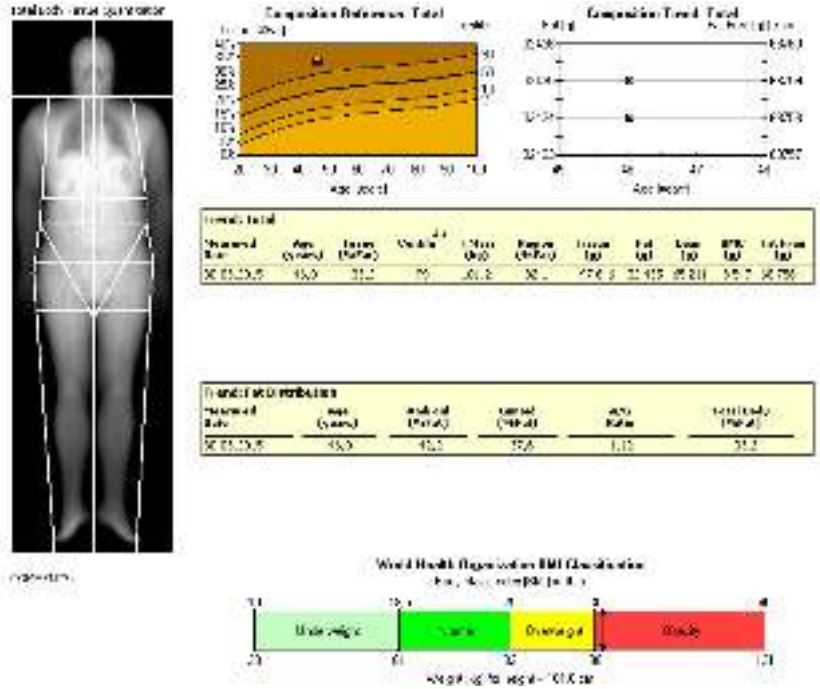

Рисунок 17 – Вид автоматически сформированного отчета по результатам проведенной двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии всего тела

ДРА всего тела предоставляет информацию об относительном количестве и абсолютной массе жира (fat), сухой (безжировой) массы, включающей мышцы и внутренние органы (lean) и минеральной плотности костей (BMC), измеренные отдельно для конечностей (appendicular), туловища (trunk) или всего тела (total).

Мышцы туловища (грудь и спина) являются одними из наиболее развитых, но их очень трудно оценить с помощью ДРА, так как помимо мышечной ткани в область интереса будут включаться внутренние органы. Таким образом, измерения обычно производятся на руках и ногах.

Для измерения массы скелетных мышц в качестве базового показателя обычно используется аппендикулярная скелетная масса (ASM), которая представляет собой сумму безжировой массы конечностей. Поскольку мышечная масса сильно коррелирует с общими размерами тела (весом и ростом), то используется стандартизированный показатель, представляющий собой отношение ASM к квадрату роста (h^2), к весу или индексу массы тела (BMI). Среди них наиболее часто используется индекс ASM/h^2, который был принят в рекомендациях EWGSOP (European Working Group on Sarcopenia in Older People) и называется индексом скелетных мышц. ***Мышечная масса считается сниженной у женщин при значениях ASM/h^2 менее 5,5 кг/м², у мужчин – менее 7 кг/м².***

Недостатком индекса ASM/h^2 является возможность гиподиагностики саркопении у пациентов с ожирением (саркопеническое ожирение), из-за того, что он не включает в себя массу мышц туловища, которые гипотрофируются при излишнем отложении жировой ткани. В тоже время использование индекса ASM/BMI позволяет учесть этот процесс и избежать ошибок в диагностике.

Глава 6
Методика оценки мышечной массы и качества мышечной ткани по данным ультразвуковой диагностики

Для оценки объема мышечной массы и определения качеств енных характеристик мышечной ткани возможно проведение ультразвукового исследования мышц предплечья, передней брюшной стенки или нижних конечностей. Ниже представлена методика проведения исследования на уровне бедра.

Исследование проводится в положении сидя, согнув ноги в коленных суставах под углом 120° (рис. 18). Линейный датчик (5-12 МГц) устанавливается перпендикулярно бедру по медиальной поверхности на середине расстояния от надколенника до большого вертела.

Рисунок 18 – Положение пациента для измерения толщины прямой мышцы бедра при ультразвуковом исследовании

В В-режиме, оказывая на датчик минимальное давление и используя достаточное количество геля, выполняется поперечное сканирование мышечного массива с обязательной визуализацией передней поверхности бедренной кости. Проводится измерение толщины прямой мышцы бедра (ПМБ), ориентируясь на поверхностный и глубокий фасциальные листки (рис. 19). **Пороговые значения толщины ПМБ для диагностики саркопении у мужчин составляет менее 9 мм, у женщин менее 7 мм.**

В процессе ультразвукового исследования в обязательном порядке выполняется качественная оценка мышечной ткани. При развитии С. в ней происходит структурная перестройка, которая сопровождается увеличением количества фиброзных волокон и жира, в результате эхогенность мышцы возрастает [74]. В таблице 8 представлены общепринятые градации степени эхогенности мышечной ткани [75].

Рисунок 19 – Ультразвуковое исследование в В-режиме мягких тканей бедра, поперечный срез, прямая мышца отграничена поверхностной и глубокой фасциями (стрелки)

Таблица 8 – Градации степени эхогенности мышцы

Степень эхогенности	Описание
1	нормальная эхогенность
2	повышенная эхогенность сигнала от мышцы с отчетливой визуализацией поверхности кости
3	выраженное усиление эхо-сигнала от мышц со сниженной визуализацией поверхности кости
4	сильно выраженное усиление эхо-сигнала от мышц и полная потеря визуализации поверхности кости

К сожалению, вендерные различия (использование сканеров различных производителей), выполнение исследований на сканерах разного технологического класса и сканерах различных поколений затрудняют стандартизацию оценки эхогенности мышечной ткани на ультразвуковых изображениях. Также негативное влияние на интерпретацию результатов ультразвукового сканирования оказывает внутри- и межоператорская воспроизводимость методики. При этом калибровочная модель, чтобы нивелировать эти недостатки, пока не разработана.

Дополнительными параметрами, которые используются для качественной оценки мышечной ткани, являются угол перистости и длина мышечного пучка прямой мышцы. Угол перистости отражает степень наклона мышечного пучка по отношению к апоневрозу мышцы. С возрастом и при развитии С. угол перистости уменьшается (рис. 20). Для определения угла перистости между мышечным пучком и апоневрозом необходимо провести продольное сканиро-

вание с установкой датчика вдоль оси прямой мышцы. Исходя из данных об угле перистости и толщины мышцы можно вычислить длину мышечного пучка между поверхностной и глубокой фасциями, если он полностью не входит в плоскость сканирования. Вместе с тем использование описанных выше параметров мышечной ткани для диагностики С. пока не получило широкого распространения, поскольку не выработаны четкие критерии ее диагностики. Изучение рядом авторов изменений в различных группах мышц, субъективность применяемых подходов требуют дальнейшего совершенствования методики, систематизации и осмысления получаемых данных.

Рисунок 20 – Ультразвуковое исследование в В-режиме мягких тканей бедра, продольный срез, проведено измерение угла перистости (£)

Перспективными ультразвуковыми методиками оценки качественных характеристик мышечной ткани являются эластография и эластометрия – изучение в реальном времени распределения деформации ткани скелетных мышц, либо регистрация скоростей сдвиговых волн с расчетом модуля упругости Юнга [73]. При С. из-за развития фиброза в мышечной ткани происходят биомеханические изменения, приводящие к увеличению упругости и уменьшению ее эластичности, которые и обнаруживаются с помощью ультразвуковой эластографии [76]. На современных ультразвуковых сканерах доступно несколько вариантов проведения этого исследования, которые различаются по способу получения изображений, демонстрирующих смещение ткани. Наиболее распространенной является компрессионная ультразвуковая эластография, в которой одним из подходов является ручное сжатие тканей с помощью ультразвукового датчика. Возникающее в результате осевое смещение мышечной ткани (т.е. деформация) преобразовывается в цветовую картограмму и может быть определено качественно (рис. 21) или рассчитано полуколичественно с определением коэффициента деформации strain ratio.

Более современной считается сдвиговая эластография, которая не требует компрессии тканей датчиком и тем самым снижает субъективность результатов исследования (рис. 22). Суть технологии состоит в измерении скорости распространения сдвиговой волны, генерируемой импульсом датчика во всем диапазоне глубины заданной области и расчёте модуля упругости Юнга. Скорости

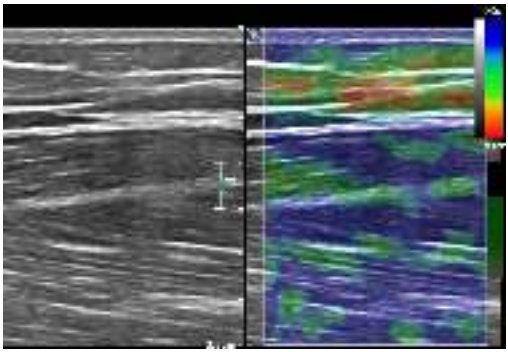

Рисунок 21 – Компрессионная ультразвуковая эластография на уровне средней трети бедра. Изображение в В-режиме картировано в соответствии с параметрами упругости мышечной ткани

распространения сдвиговых волн в заданном окне исследования отображаются на цветовой картограмме, а их значение и, соответственно, рассчитанный по формуле модуль упругости Юнга, фиксируются на эластограммах. Обычно красным цветом на эластограммах маркируются более упругие, жесткие структуры, в то время как нормальная ткань соответствует сине-голубому фону. Перемещая окно измерения, можно определить показатель скорости сдвиговой волны (м/с) или упругости ткани (кРа).

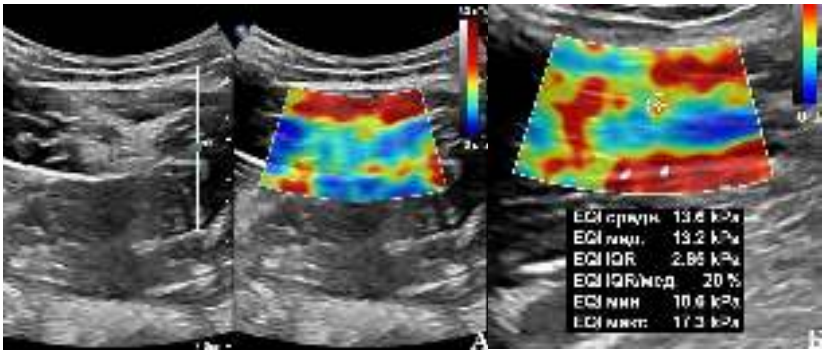

Рисунок 22 – Ультразвуковая эластография сдвиговой волны на уровне средней трети бедра. А – изображение в окне эластографии картировано в соответствии с параметрами упругости мышечной ткани. Б – измерение эластичности мышечной ткани с расчетом модуля упругости Юнга (EQI мед 13,2 кПа)

Одной из особенностей результатов проведенной ультразвуковой эластографии является отсутствие зависимости от антропометрических данных (рост, вес и др.). Следовательно, полученные при исследовании данные не требуют дополнительной стандартизации. Вместе с тем в настоящее время остается не решенной проблема сопоставимости результатов, полученных на аппаратах различных производителей, а также определенная субъективность в выборе зон изменений эластичности. Несомненно, сдвиговая эластография имеет потенциал использования и требует дальнейшего накопления данных и проведения научных исследований.

Глава 7
Методика оценки мышечной массы с помощью биоимпедансного анализа

Аппарат биоимпедансного анализа имеет небольшие размеры, достаточно легко собирается, поэтому обладает важным преимуществом по сравнению с другими методами – портативностью (рис.23)

При подготовке аппарата к работе его необходимо установить на ровной и устойчивой поверхности, чтобы избежать риска падения и неточности измерений. После включения прибора с помощью специального интерфейса вводится следующая информация:

- вес одежды,
- тип телосложения (обычный мужской, или женский, атлетический мужской или женский),
- возраст,
- рост,
- целевой процент содержания жира.

На платформу прибора необходимо зайти босыми ногами, так чтобы встать на электроды. После этого последует взвешивание.

Следующий этап – это измерение сопротивления. Для этого пациент берется двумя руками за рукоятки (рис.24). После завершение циклов прохождения импульсов последует звуковой сигнал.

Результаты исследования будут представлены на дисплее прибора и могут быть распечатаны (рис. 25).

Рисунок 23 – Общий вид аппарата TANITA BC-418MA

Рисунок 24 – Положение пациента при измерении импеданса

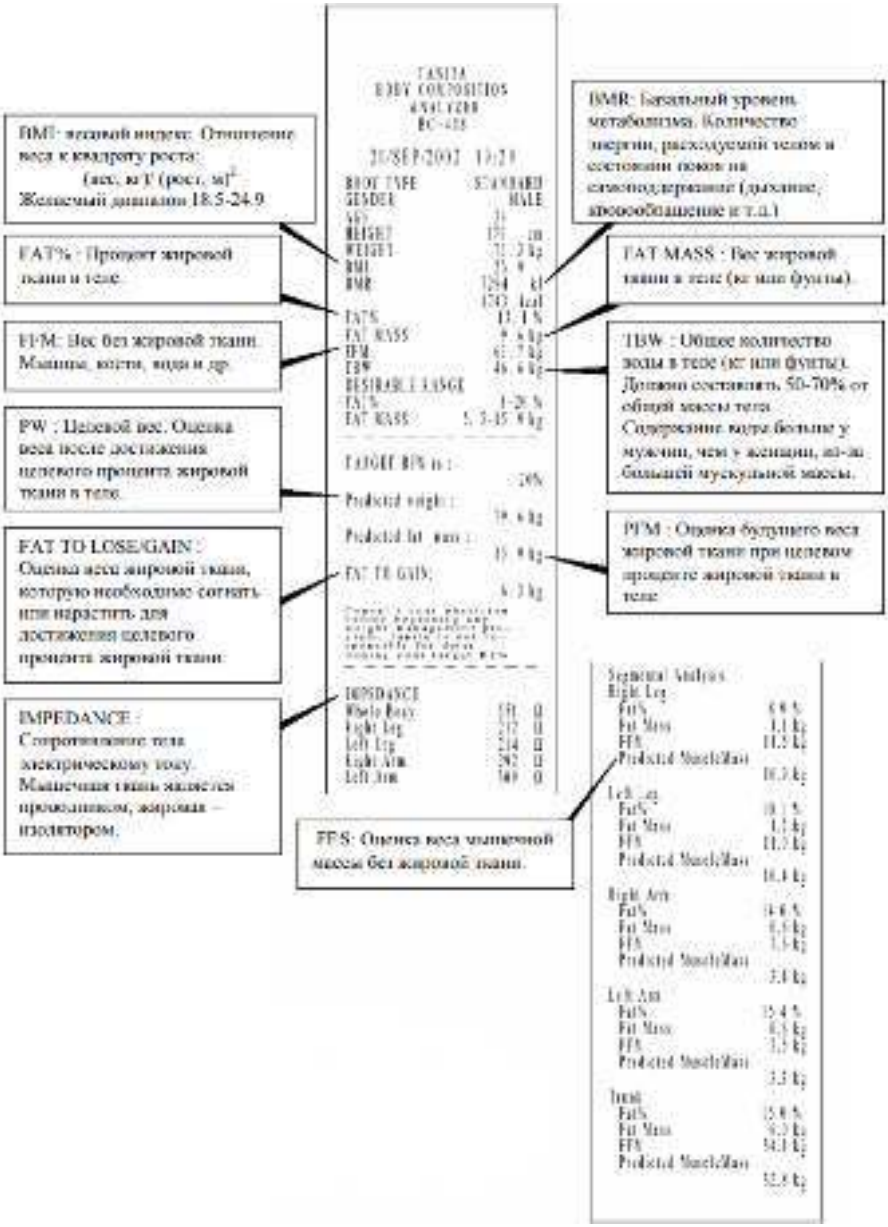

Рисунок 25 – Результаты биоимпедансного анализа состава тела в виде отчета

В отчете будет представлена информация об относительной и абсолютной массе жира (FAT) и мышц (FFM) в теле, а также посегментный анализ (правая и левая рука, правая и левая нога, туловище).

Приложение А

Пример использования индекса мышечной массы, определенного по данным компьютерной томографии, в научной работе

С целью определения прогностического значения ИММ на летальный исход пациентов с подтвержденной пневмонией, вызванной SARS-CoV-2, были ретроспективно проанализированы медицинские данные 247 пациентов, которым проводилась КТ в период с апреля по июнь 2020 г. в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна и Химкинской областной больнице. Пациенты были набраны в случайном порядке из имеющейся базы данных таким образом, чтобы количество случаев с летальным исходом и выздоровления соответствовали друг другу. На рисунке А.1 представлены количество и возрастные показатели больных.

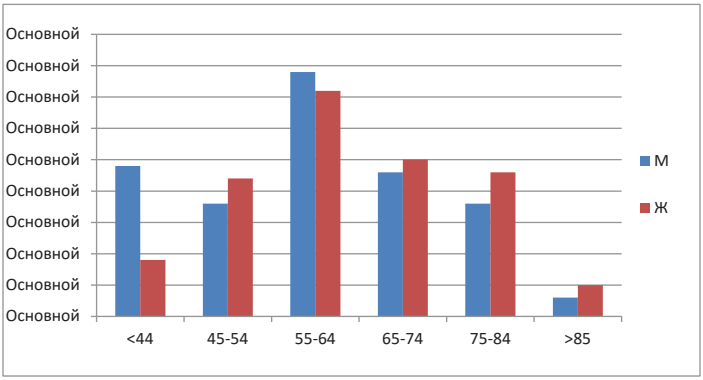

Рисунок А.1 – Распределение больных по полу и возрастным интервалам

Среди вошедших в исследование больных мужского и женского пола исходом госпитализации был летальный исход в 54,3 % и 41,9 % случаев соответственно (рис. А.2)

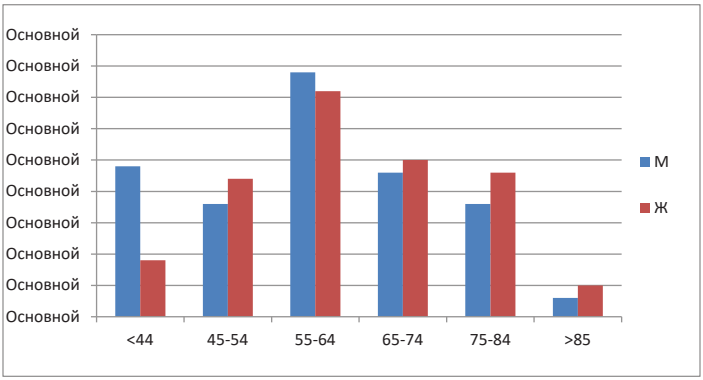

Рисунок А.2 – Количество умерших и выздоровевших пациентов обоего пола

Компьютерная томография выполнялась на аппаратах Toshiba Aquilion 64 и Philips Ingenuity по стандартному протоколу с толщиной слоя 1 мм, автоматической модуляцией силы тока и напряжением рентгеновской трубки 120 кV. Обработку данных проводили с помощью с помощью программного обеспечения Inobitec Dicom Viewer.

Получение данных для определения ИММ проводилось в два этапа. На первом этапе на изображении в сагиттальной проекции проводилось измерение длины (L, м) грудного отдела позвоночника от верхней замыкательной пластинки тела позвонка Th_I до нижней замыкательной пластинки тела позвонка Th_{XII}. При этом линия измерения проходила через середину тел позвонков (рис. А.3а). В случае сколиотической деформации выбиралась наиболее приемлемая для измерения сагиттальная проекция. На втором этапе на аксиальном срезе, который соответствовал середине высоты задней поверхности тела позвонка Th_{XII}, проводилось измерение площади параспинальных мышц (S, см^2) (рис. А.3б). Вычисление ИММ на основе длины грудного отдела позвоночника (ИММ-L, см^2/м^2) проводилось по формуле:

$$ИММ - L = \frac{S}{L^2} \times 100$$

Введение в формулу коэффициента 100 позволило получать целые числа ИММ-L, которыми удобно оперировать в практической работе.

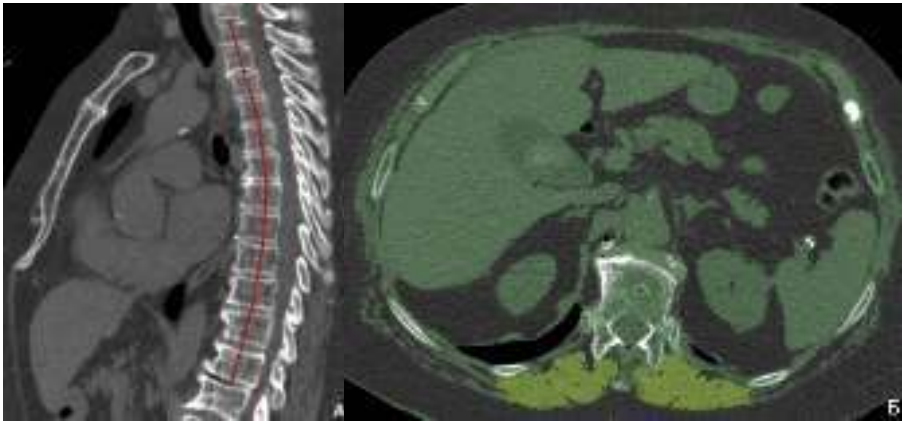

Рисунок А.3 – Компьютерные томограммы. А – сагиттальная проекция, продемонстрировано измерение длины грудного отдела позвоночника, а также уровень середины тела позвонка Th_{XII}. Б – аксиальная проекция на уровне середины тела позвонка Th_{XII}, выделена площадь параспинальных мышц

На рисунке А.4 приведен пример заметной атрофии скелетных мышц с жировым замещением.

Рисунок А.4 – Компьютерная томограмма, аксиальная проекция на уровне Th_{XII}, параспинальные мышцы атрофированы, выделены желтым цветом

Во всех случаях, когда была доступна информация о росте (Н, м) больного, ИММ-Н (см²/м²) вычислялся по формуле:

$$ИММ - H = \frac{S}{H^2}$$

Для определения корреляционной связи между ИММ, стандартизированными по росту и длине грудного отдела позвоночника, они были измерены у каждого из 152 пациентов, которым проводилось обследование как грудной клетки, так и брюшной полости.

В результате корреляционного анализа была выявлена сильная линейная корреляция (r=0,861, p<0,001) между ИММ-L и ИММ-Н (рис. А5).

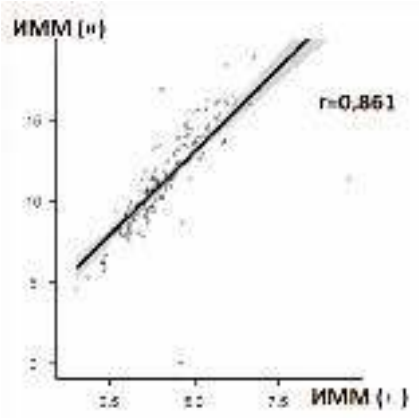

Рисунок А.5 – График, демонстрирующий корреляцию между индексами ИММ-Н и ИММ-L

В группах пациентов с летальным исходом и выздоровевших как у мужчин, так и у женщин, было зарегистрировано статическое значимое различие ИММ-L и возраста (p<0,05) (таблица А.1).

Таблица А.1 – Зависимость ИММ-L от половозрастной группы

Параметр	Мужчины			Женщины		
	< 60 лет	**≥ 60 лет**	**p**	**< 65 лет**	**≥ 65 лет**	**p**
Кол-во пациентов, n (%от всех пациентов)	59 (23,9)	66 (26,7)	-	69 (27,9)	53 (21,5)	-
ИММ-L, см²/м²	4,32 [3,61 – 4,99] (1,34 – 6,95)	3,74 [2,92 – 4,73] (1,52 – 6,15)	0,009	4,04 [3,47 – 4,90] (2,53 – 7,95)	3,69 [2,86 – 4,02] (1,52 – 5,34)	<0,001
Частота летальных исходов в группе, n(%)	10 (17,0)	34 (51,5)	<0,001	10 (14,5)	26 (49,1)	<0,001

Исходя из того, что ИММ-L может быть независимо ассоциирован с исходом COVID19, в каждой из половозрастных групп был проведен ROC-анализ для вычисления его пороговых значений, которые могут быть использованы для определения прогноза исхода заболевания (таблица А.2).

Таблица А.2 – Результаты ROC-анализа в половозрастных группах

Параметр	Мужчины		Женщины	
	< 60 лет	**≥ 60 лет**	**< 65 лет**	**≥ 65 лет**
Пороговое значение ИММ-L, см²/м²	3,37	3,56	5,30	3,60
Чувствительность / Специфичность, %	93,9 / 70,0	71,9 / 55,9	18,6 / 100	63,0 / 60,7
Площадь под ROC -кривой	0,849	0,619	0,502	0,524
ОШ (95% ДИ)	26,3 (4,8 – 143,0)	3,2 [1,2 – 9,0]	2,0 (0,2 – 17,9)	2,0 (0,7 – 5,9)

Результаты нашей работы продемонстрировали, что для пациентов мужского пола показатель ИММ-L обладает прогностическим значением. У мужчин младше 60 лет с ИММ-L менее 3,37 см²/м² вероятность летального исхода возрастала в 26,3 раза. В тоже время у мужчин старше 60 лет этот прогностический фактор обладал меньшей ценностью. Так, вероятность летального исхода возрастала в 3,2 раза при ИММ-L менее 3,56 см²/м². У женщин независимо от возрастной группы ИММ-L статистически значимо на исход заболевания не влиял.

Таким образом, исследование продемонстрировало возможность стандартизации индекса мышечной массы, определяемого на уровне позвонка Th_{XII}, не только по росту, но и по длине грудного отдела позвоночника. Выявлено прогностическое значение ИММ-L в определении риска летального исхода у пациентов мужского младше 60 лет с пневмонией, вызванной SARS-CoV-2.

Тестовые вопросы для самоконтроля

Возможен один вариант ответа:

1. Саркопения – это заболевание
   a. скелетной мышечной массы
   b. скелетной мышечной массы и жировой ткани
   c. скелетной мышечной массы, жировой ткани и скелета
2. Первым термин «саркопения» предложил
   a. I. Rosenberg
   b. K.W. Rentgen
   c. P. Lauterbur
3. Саркопения является
   a. синдромом в рамках заболеваниях других органов и систем
   b. отдельным заболеванием скелетной мышечной системы
   c. патологическим состоянием, характерным только для пожилых людей
4. Утверждение, что скелетная мышечная масса является «эндокринным органом»
   a. неверно
   b. верно
   c. не находит общего признания в медицинском сообществе
5. Снижение мышечной массы и увеличение жировой приводит
   a. к противовоспалительным эффектам
   b. к провоспалительным эффектам
   c. не влияет на течение воспалительного ответа
6. Саркопения увеличивает
   a. риск падений
   b. продолжительность стационарного лечения при многих заболеваниях
   c. a и b
7. Заболеваемость саркопенией в будущем
   a. возрастет
   b. снизится
   c. не изменится
8. Саркопения бывает
   a. первичной
   b. вторичной
   c. a и b
9. Первичная саркопения ассоциирована
   a. с возрастом
   b. с сопутствующими заболеваниями
   c. a и b

10. Способы оценки мышечной массы в XIX веке основывались на
a. антропометрических данных
b. содержании креатинина в моче
c. a и b
11. Динамометрия во время теста «кистевого захвата» позволяет
a. оценить мышечную силу верхних конечностей
b. поставить диагноз саркопении на основании пороговых значений
c. оценить в целом мышечную силу человека
12. Диагностический алгоритм при обследовании на предмет саркопении следует начинать
a. с опросника SARC-F
b. с двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии
c. с компьютерной томографии на уровне позвонка L3
13. Для постановки диагноза саркопения необходимо подтвердить
a. снижение мышечной массы
b. снижение мышечной силы
c. a и b
14. Тест «4-х метровой ходьбы» позволяет оценить
a. достаточность мышечной массы
b. мышечную силу
c. физическую работоспособность/мышечную функцию
15. Индекс мышечной массы по данным КТ можно определить
a. на уровне позвонка L3
b. при оконтуривании поясничных мышц
c. учитывая плотность мышечной ткани < -100HU
16. Недостатком КТ/МРТ для использования в диагностике саркопении является
a. отсутствие пороговых значений индекса мышечной массы
b. низкая точность метода
c. высокая стоимость исследования
17. Преимуществом биоэлектрического импеданса в диагностике саркопении является
a. очень высокая точность
b. независимость результатов от степени гидратации пациента
c. доступность
18. На результаты биоэлектрического импеданса может повлиять
a. гидратация пациента
b. наличие кардиостимулятора
c. вес одежды
19. Двухфотонная рентгеновская абсорбциометрия позволяет оценить
a. мышечную массу правой ноги
b. минеральную плотность костей
c. a и b
20. Стандартизация индекса мышечной массы возможна по
a. росту
b. индексу массы тела
c. a и b

21. Предпочтительным методом для мониторинга пациентов с саркопенией является

a. КТ

b. МРТ

c. биоэлектрический импеданс

22. Оцените верность утверждения: в настоящее время существуют эффективные способы лечения саркопении

a. верно

b. неверно

c. зависит от финансовых возможностей здравоохранения

23. Ультразвуковое исследование позволяет оценить

a. мышечную массу

b. качество мышечной ткани

c. a и b

Ответы:

№ вопроса	**Правильный ответ**	**№ вопроса**	**Правильный ответ**
1	a	13	c
2	a	14	c
3	b	15	a
4	b	16	c
5	b	17	c
6	c	18	a
7	a	19	c
8	c	20	c
9	a	21	c
10	c	22	b
11	a	23	c
12	a		

Ситуационные задачи

1. Больной К., 78 лет на амбулаторном приеме у терапевта предъявляет жалобы на слабость, утомляемость, отсутствие аппетита, снижение массы тела. В общем анализе крови отмечается снижение гемоглобина до 100 г/л, снижение уровня альбумина до 50 г/л, увеличение СОЭ до 25 мм/ч. Пациент длительно страдает ишемической болезнью сердца, гипертонической болезнью, недавно проходил обследование в стационаре, при котором онкопатология не выявлена.

Вопрос: какой из гериатрических синдромов наиболее вероятен?

Предполагаемый ответ:

А: саркопения

Б: кахексия

В: мальнутриция

Г: синдром хрупкости

2. В пансионате для пожилых людей с целью ранней диагностики саркопении разработан ряд профилактических и лечебных мероприятий. Решается вопрос о закупке необходимого оборудования для мониторинга состояния мышечной массы.

Вопрос: какой аппарат наиболее целесообразно использовать в такой ситуации?

А: денситометр

Б: аппарат для биоимпедансного анализа

В: компьютерный томограф

Г: кистевой динамометр

3. В центре трансплантации печени проходят обследование пациенты с циррозом печени, которым выполняется МРТ головного мозга, КТ органов грудной клетки и брюшной полости, УЗИ-эластография печени. Решено провести научную работу для оценки прогностической роли состояния мышечной ткани на риск развития осложнений после трансплантации печени и ее отдаленные результаты.

Вопрос: какой метод инструментальной диагностики наиболее целесообразно использовать в этой ситуации?

А: данные КТ

Б: данные УЗИ

В: данные МРТ

Г: проспективно использовать данные кистевой динамометрии

Эталоны ответов ситуационных задач

1. Б
2. Б
3. А

Библиография

1. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. J Nutr 1997;127:990S-1S. 10.1093/jn/127.5.990S.
2. Petermann-Rocha, Fanny et al. “Global prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis.” Journal of cachexia, sarcopenia and muscle vol. 13,1 (2022): 86-99. doi:10.1002/jcsm.12783
3. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinková E, Vandewoude M, Zamboni M, European Working Group on Sarcopenia in Older People Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. Age Ageing 2010;39:412-23. 10.1093/ageing/afq034
4. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, Cooper C, Landi F, Rolland Y, Sayer AA, Schneider SM, Sieber CC, Topinkova E, Vandewoude M, Visser M, Zamboni M; Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing 2019;48:16-31. Erratum in: Age Ageing 2019;48:601. 10.1093/ageing/afy169
5. Lee I, Cho J, Hong H, Jin Y, Kim D, Kang H. Sarcopenia is associated with cognitive impairment and depression in elderly Korean women. Iran J Public Health 2018;47:327-34
6. World Health Organization. Decade Of Healthy Aging 2020-2030. Available online: https://www.who.int/docs/default-source/documents/decade-of-health-ageing/decade-ageing-proposal-en.pdf?sfvrsn=b0a7b5b1_12
7. Petermann-Rocha F, Ho FK, Welsh P, Mackay D, Brown R, Gill JMR, et al. Physical capability markers used to define sarcopenia and their association with cardiovascular and respiratory outcomes and all-cause mortality: a prospective study from UK Biobank. Maturitas 2020;138:69–75.
8. Papadopoulou SK, Tsintavis P, Potsaki P, Papandreou D. Differences in the prevalence of sarcopenia in community-dwelling, nursing home and hospitalized individuals. A systematic review and meta-analysis. J Nutr Health Aging 2020;24:83–90.
9. Peng TC, Chen WL, Wu LW, Chang YW, Kao TW. Sarcopenia and cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. Clin Nutr. 2020;39(9):2695-2701. doi:10.1016/j.clnu.2019.12.014
10. Carnevale V, Castriotta V, Piscitelli PA, Nieddu L, Mattera M, Guglielmi G, Scillitani A. Assessment of skeletal muscle mass in older people: comparison between 2 anthropometry-based methods and dual-energy X-ray absorptiometry. J Am Med Dir Assoc 2018;19:793-6. 10.1016/j.jamda.2018.05.016
11. Burns JE, Yao J, Chalhoub D, Chen JJ, Summers RM. A machine learning algorithm to estimate sarcopenia on abdominal CT. Acad Radiol 2020;27:311-20.
12. Rossi F, Valdora F, Bignotti B, Torri L, Succio G, Tagliafico AS. Evaluation of body computed tomography-determined sarcopenia in breast cancer patients and clinical outcomes: a systematic review. Cancer Treat Res Commun 2019;21:100154. 10.1016/j.ctarc.2019.100154
13. Giovannini S, Brau F, Forino R, et al. Sarcopenia: Diagnosis and Management, State of the Art and Contribution of Ultrasound. J Clin Med. 2021;10(23):5552. Published 2021 Nov 26. doi:10.3390/jcm10235552
14. Закревский А.И., Фёдорова А.А., Пасечник И.Н., Кутепов Д.Е. Саркопения: как её

диагностировать? // Клиническое питание и метаболизм. – 2021. – Т. 2. – №1. – С. 13-22. doi: 10.17816/clinutr71107
15. Robert D. Boutin, Lawrence Yao, Robert J. Canter, and Leon Lenchik. Sarcopenia: Current Concepts and Imaging Implications. American Journal of Roentgenology 2015 205:3, W255-W266
16. Gingrich, A., Volkert, D., Kiesswetter, E. et al. Prevalence and overlap of sarcopenia, frailty, cachexia and malnutrition in older medical inpatients. BMC Geriatr 19, 120 (2019). https://doi.org/10.1186/s12877-019-1115-1
17. Moorthi, R.N., Liu, Z., El-Azab, S.A. et al. Sarcopenia, frailty and cachexia patients detected in a multisystem electronic health record database. BMC Musculoskelet Disord 21, 508 (2020). https://doi.org/10.1186/s12891-020-03522-9
18. Мокрышева Н.Г., Крупинова Ю.А., Володичева В.Л., Мирная С.С., Мельниченко Г.А. Саркопения глазами эндокринолога. Ожирение и метаболизм. 2018;15(3):21-27. https://doi.org/10.14341/omet9792
19. Торопцова Н.В., Феклистов А.Ю. Патология костно-мышечной системы: фокус на саркопению и остеосаркопению. Медицинский Совет. 2019;(4):78-86. https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-4-78-86
20. Tagliafico, A.S., Bignotti, B., Torri, L. et al. Sarcopenia: how to measure, when and why. Radiol med 127, 228–237 (2022). https://doi.org/10.1007/s11547-022-01450-3
21. Reginster JY, Cooper C, Rizzoli R et al. Recommendations for the conduct of clinical trials for drugs to treat or prevent sarcopenia. Aging Clin Exp Res 2016; 28: 47–58.
22. Malmstrom TK, Miller DK, Simonsick EM, Ferrucci L, Morley JE. SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2016 Mar;7(1):28-36. doi: 10.1002/jcsm.12048. Epub 2015 Jul 7.
23. Сулейманова А.К., Сафонова Ю.А., Баранова И.А. Частота саркопении у пациентов со стабильной хронической обструктивной болезнью легких: сравнение диагностических алгоритмов Европейской рабочей группы по саркопении у пожилых людей (редакции 2010 и 2018 гг.). Пульмонология. 2019;29(5):564-570. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2019-29-5-564-570
24. Setiati S. Diagnostic Tools for Sarcopenia: Can We Get Less Expensive and Accurate Methods?. Acta Med Indones. 2019;51(2):93-94.
25. Chevreul E. Sur la composition chimique du bouillon de viandes (On the chemical composition of meatbroth). J Pharm Sci Access. 1835;21:231–42.
26. Folin O. Laws governing the chemical composition of urine. Am J Insanity. 1904;60:709–10.
27. Bürger M. Beiträge zum Kreatininstoffwechsel. Z f d g Exp Med. 1919;9:361–99. doi:10.1007/bf03002912.
28. Hahn A, Meyer G. On the mutual transformation of creatine and creatinine. Z Biol. 1928;78:111–5.
29. Graystone JE, Cheek DB. The effects of reduced caloric intake and increased insulin-induced caloric intake on the cell growth of muscle, liver, and cerebrum and on skeletal collagen in the postweanling rat. Pediatr Res. 1969;3:66–76.
30. Kreisberg R, Bowdoin B, Meador CK. Measurement of muscle mass in humans by isotopic dilution of creatine-14C. J Appl Physiol. 1970;28:264–7.
31. Wang ZM, Sun YG, Heymsfield SB. Urinary creatinine-skeletal muscle mass method: a prediction equation based on computerized axial tomography. Biomed Environ Sci. 1996;9:185–90.

32. Brozek J, Prokopec M. Historical note: early history of the anthropometry of body composition. Am J Hum Biol. 2001;13:157–8. doi:10.1002/1520-6300(200102/03)13:2<157::AID-AJHB1023>3.0.CO;2-L.
33. Matiegka J. The testing of physical efficiency. Am J Phys Anthropol. 1921;4:223–30. doi:10.1002/ajpa.1330040302.
34. Lee RC, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield SB. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. Am J Clin Nutr. 2000;72:796–803.
35. Heymsfield SB, Wang Z, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. Annu Rev Nutr. 1997;17:527–58. doi:10.1146/annurev.nutr.17.1.527.
36. Cohn SH, Gartenhaus W, Sawitsky A, Rai K, Zanzi I, Vaswani A, et al. Compartmental body composition of cancer patients by measurement of total body nitrogen, potassium, and water. Metabolism. 1981;30:222–9.
37. Nitske WR. The life of Wilhelm Conrad Röntgen, discoverer of the X-ray. Tucson: University of Arizona Press; 1971.
38. Stuart HC. The growth of bone, muscle, and overlying tissues in children 6 to 10 years of age as revealed by studies of roentgenograms of the leg area. Monogr Soc Res Child Dev. 1942;13:195.
39. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. Br J Radiol. 1973;46:1016–22.
40. Cormack AM. Nobel award address. Early two-dimensional reconstruction and recent topics stemming from it. Med Phys. 1980;7:277–82.
41. Heymsfield SB, Noel R, Lynn M, Kutner M. Accuracy of the soft tissue density predicted by CT. J Comput Assist Tomogr. 1979;8:859.
42. Heymsfield SB, Olafson RP, Kutner MH, Nixon DW. A radiographic method of quantifying protein-calorie undernutrition. Am J Clin Nutr. 1979;32:693–702.
43. Tokunaga K, Matsuzawa Y, Ishikawa K, Tarui S. A novel technique for the determination of body fat by computed tomography. Int J Obes. 1983;7:437–45.
44. Sjöström S. Chefer och människor. 1. uppl. ed. Solna: SIPU; 1984.
45. Rabi II, Millman S, Kusch P, Zacharias JR. The molecular beam resonance method for measuring nuclear magnetic moments. The magnetic moments of Li63, Li73, and F199. Phys Rev. 1939;55:526–35.
46. Bloch F. The principle of nuclear induction. Science. 1953;118:425–30. doi:10.1126/science.118.3068.425.
47. Purcell. Research in nuclear magnetism in Nobel lectures, physics: 1942–1962. Amsterdam: Elsevier; 1962. p. 232.
48. Lauterbur. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. Nature. 1973;242:190–1.
49. Garroway A. Solid state NMR, MRI, and Sir Peter Mansfield: (1) from broad lines to narrow and back again; and (2) a highly tenuous link to landmine detection. MAGMA. 1999;9:103–8. doi:10.1007/bf02594604.
50. Damadian R. Tumor detection by nuclear magnetic resonance. Science. 1971;171:1151–3.
51. Foster MA, Hutchison JM, Mallard JR, Fuller M. Nuclear magnetic resonance pulse sequence and discrimination of high- and low-fat tissues. Magn Reson Imaging. 1984;2:187–92.
52. Ross R, Leger L, Guardo R, De Guise J, Pike BG. Adipose tissue volume measured by magnetic resonance imaging and computerized tomography in rats. J Appl Physiol. 1985;70:2164–72. 1991.

53. Ross R, Pedwell H, Rissanen J. Effects of energy restriction and exercise on skeletal muscle and adipose tissue in women as measured by magnetic resonance imaging. Am J Clin Nutr. 1995;61:1179–85.
54. Selberg O, Burchert W, Graubner G, Wenner C, Ehrenheim C, Muller MJ. Determination of anatomical skeletal muscle mass by whole body nuclear magnetic resonance. Basic Life Sci. 1993;60:95–7.
55. Wüthrich K, Wider G, Wagner G, Braun W. Sequential resonance assignments as a basis for determination of spatial protein structures by high resolution proton nuclear magnetic resonance. J Mol Biol. 1982;155:311–319.
56. Cameron JR, Sorenson J. Measurement of bone mineral in vivo: an improved method. Science. 1963;142:230–2.
57. Mazess RB, Cameron JR, Sorenson JA. Determining body composition by radiation absorption spectrometry. Nature. 1970;228:771–2.
58. Miller PD. The history of bone densitometry. Bone. 2017;104:4-6. doi:10.1016/j. bone.2017.06.002.
59. Shepherd JA, Ng BK, Sommer MJ, Heymsfield SB. Body composition by DXA. Bone. 2017;104:101-105. doi:10.1016/j.bone.2017.06.010.
60. Fuller NJ, Laskey MA, Elia M. Assessment of the composition of major body regions by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), with special reference to limb muscle mass. Clin Physiol. 1992;12:253–66.
61. Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. Am J Clin Nutr. 2002;76:378–83.
62. Thomasset, A (1962) Bioelectrical properties of tissue impedance measurements. Lyon Med 94, 107–118.
63. Organ, LW, Bradham, GB, Gore, DT et al. (1994) Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. J Appl Physiol (1985) 77, 98–112
64. Norman, K, Stobaus, N, Pirlich, M et al. (2012) Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis – clinical relevance and applicability of impedance parameters. Clin Nutr 31, 854–861.
65. Basile, C, Della-Morte, D, Cacciatore, F et al. (2014) Phase angle as bioelectrical marker to identify elderly patients at risk of sarcopenia. Exp Gerontol 58, 43–46.
66. Dussik, KT (1954) The ultrasonic field as a medical tool. Am J Phys Med 33, 5–20.
67. Ludwig, GD, Bolt, RH, Heuter, TF et al. (1950) Factors influencing the use of ultrasound as a diagnostic aid. Trans Am Neurol Assoc 51, 225–228.
68. Pillen, S & van Alfen, N (2011) Skeletal muscle ultrasound. Neurol Res 33, 1016–1024.
69. mith-Ryan, AE, Fultz, SN, Melvin, MN et al. (2014) Reproducibility and validity of A-mode ultrasound for body composition measurement and classification in overweight and obese men and women. PLoS ONE 9, e91750.
70. Dietz, HP (2004) Ultrasound imaging of the pelvic floor. Part II: three-dimensional or volume imaging. Ultrasound Obstet Gynecol 23, 615–625.
71. Sanada, K, Kearns, CF, Midorikawa, T et al. (2006) Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. Eur J Appl Physiol 96, 24–31.
72. Loenneke, JP, Thiebaud, RS & Abe, T (2014) Estimating site-specific muscle loss: a valuable tool for early sarcopenia detection? Rejuvenation Res 17, 496–498.
73. Drakonaki, EE, Allen, GM & Wilson, DJ (2012) Ultrasound elastography for

musculoskeletal applications. Br J Radiol 85, 1435–1445.
74. Wang J-C, Wu W-T, Chang K-V, Chen L-R, Chi S-Y, Kara M, Özçakar L. Ultrasound Imaging for the Diagnosis and Evaluation of Sarcopenia: An Umbrella Review. Life. 2022; 12(1):9. https://doi.org/10.3390/life12010009
75. Watanabe, Y, Yamada, Y, Fukumoto, Y et al. (2013) Echo intensity obtained from ultrasonography images reflecting muscle strength in elderly men. Clin Interv Aging 8, 993–998.
76. Deng M, Zhou X, Li Y, et al. Ultrasonic Elastography of the Rectus Femoris, a Potential Tool to Predict Sarcopenia in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Front Physiol. 2022;12:783421. Published 2022 Jan 5. doi:10.3389/fphys.2021.783421

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БИА – биоимпедансный анализ
БЭИ – биоэлектрический импеданс
ВОЗ – всемирная организация здравоохранения
ДРА – двухфотонная рентгеновская абсорбциометрия
ИММ – индекс мышечной массы
КТ – компьютерная томография
МПК – минеральная плотность костей
МРТ – магнитно-резонансная томография
ОА – однофотонная абсорбциометрия
ПМБ – прямая мышца бедра
С. – саркопения
УЗИ – ультразвуковое исследование
ASM – appendicular skeletal muscle mass
BMI – body mass index
EMI – erector muscle index
EWGSOP – European working group on sarcopenia in older people
PMA – psoas muscle area
PMI – psoas muscle index
SMA – skeletal muscle area
SMI – skeletal muscle index
SARC-F – strength, assistance with walking, rising from chair, climbing stairs and falls
SPPB – short physical performance battery
TBM – total body muscle mass
TUG – timed-up-and-go

Формат 60×90/16. Объём усл.печ. л.
Бумага 80г/м^2 офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Тираж 100 Экз. Заказ №

Отпечатано в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.
123098 Москва, ул. Живописная, 46.
Тел.: (499) 190-93-90, 190-94-09.
rcdm@mail.ru, lochin59@mail.ru
www.fmbafmbc.ru