ОБРАЗНИ МЕТОДИ ЗА ДИАГНОСТИКА НА САРКОПЕНИЯ

Димитрина Маркова[1,2], Георги Вълчев[1,3]

[1]Клиника по образна диагностика, УМБАЛ „Света Марина“ – Варна
[2]Катедра по образна диагностика, интервенционална рентгенология и лъчелечение, Медицински университет – Варна
[3]УС „Рентгенов лаборант“, Медицински колеж, Медицински университет – Варна

IMAGING METHODS USED IN DIAGNOSING SARCOPENIA

Dimitrina Markova[1,2], Georgi Valchev[1,3]

[1]Department of Diagnostic Imaging, St. Marina University Hospital, Medical University of Varna
[2]Department of Diagnostic Imaging, Interventional Radiology, and Radiotherapy, Medical University of Varna
[3]TS Radiological Technologist, Medical College, Medical University of Varna

РЕЗЮМЕ

Саркопенията е развиваща се концепция, която включва загуба на мускулна маса и мускулна функция, предимно в асоциация с напредваща възраст и хронични заболявания. Към днешна дата саркопенията се смята за специфичен за пациента биомаркер, с прогностична стойност за клинични и хирургични резултати. Съвременните подходи за образна диагностика на саркопенията се основават на оценката на мускулната маса. Последната може да се извърши със следните методи: двойно енергийна рентгенова абсорбциометрия (DEXA), компютърна томография (CT), магнитен резонанс (MR) и ултразвук (US). Всички тези модалности в различна степен могат да предоставят количествени данни, които са възпроизводими и сравними във времето. DEXA е най-широко използвана в клиничната практика, като нейните предимства са достъпност, автоматизация на измерването и налични широко приети гранични стойности за диагностициране на саркопения. CT и MR се смятат за референтни стандарти, позволяващи точна планиметрична и волуметрична оценка на мускулатурата и мастната тъкан, като изследванията се нуждаят от ръчна намеса при квантификацията и са асоциирани с по-висока цена. US е повсеместно достъпен нейонизиращ метод, който обаче намира ограничено приложение в диагностиката на саркопенията (предимно при оценка на мускулатурата на бедрото) поради голямата зависимост на изследването от оператора и произлизащата от това трудна

ABSTRACT

Sarcopenia is a developing concept that encompasses loss of muscle mass and function. It is primarily associated with advancing age and chronic disease. Sarcopenia is currently regarded as a patient-specific biomarker with prognostic value for clinical and surgical outcomes. Contemporary medical imaging approaches for establishing the diagnosis of sarcopenia are based on the assessment of muscle mass. This includes the following modalities: dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), computed tomography (CT), magnetic resonance (MR), and ultrasound (US). All of these methods can, to a varying degree, deliver quantitative data that is reproducible and comparable in time. DEXA is the most widely available method in clinical practice, with advantages such as accessibility, automatization of the measurement, as well as widely accepted normal value ranges. CT and MR are considered to be referent standards; both allow planimetric and volumetric quantification of muscle and fatty tissue. They necessitate the manual intervention of a human operator and come at a higher cost. US is a universally available non-ionizing imaging method, which, however, finds limited application in the diagnosis of sarcopenia (primarily in assessing thigh musculature). US is a universally available non-ionizing method, which, however, finds limited application in the diagnosis of sarcopenia (mainly in the evaluation of the thigh musculature) due to the heavy dependence of the examination on the operator as well as the resulting difficult reproducibility and the unpredictable limitations of the acoustic window.

възпроизводимост и лимитациите на акустичния прозорец.

Ключови думи: *DEXA, CT, MR, US, саркопения*

Keywords: *DEXA, CT, MR, US, sarcopenia*

УВОД

Саркопенията е развиваща се концепция, която включва загуба на мускулна маса и мускулна функция, предимно в асоциация с напредваща възраст и хронични заболявания. Към днешна дата саркопенията се смята за специфичен за пациента биомаркер, с прогностична стойност за клинични и хирургични резултати. Саркопенията е актуален обект на множество изследвания както поради увеличаващата се информираност за това състояние, така и поради нарастващото му разпространение, което се дължи на застаряването на населението в развитите държави (19). Състоянието е по-често при дълголетните индивиди (19). Групата над 60-годишна възраст в световната популация се очаква да се удвои през следващите 30 години, като по този начин се очаква саркопенията се превърне в обществено-значимо заболяване (16). Разпространението на саркопения в света се очаква да нарасне от 50 милиона души през 2010 г. до около 200 милиона през 2050 г. (16), с прогноза да засегне около 10% от хората в седмото им десетилетие и около 11-50% от хората в деветото им десетилетие.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Представените данни представляват адаптиран обзор, извлечен от подбрани съвременни международни източници, публикувани в реномирани международни бази данни.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Първоначалното определение на саркопенията е състояние на намаляване на мускулната маса, възникващо при възрастни хора (51,11). Тази дефиниция пропуска два важни аспекта - асоциираното намаляване на мускулната функция и възможността състоянието да се наблюдава и при млади индивиди вторично вследствие на други патологични състояния (2). Според актуализацията от 2018 г. на *Европейската работна група по саркопения при възрастни хора* (EWGSOP) саркопенията е прогресивно и генерализирано заболяване на скелетната мускулатура с повишена вероятност за нежелани прояви (падания, фрактури, инвалидизация и смъртност) (18).

Саркопенията е многофакторно състояние, свързано с възрастово обусловено намаляване на физическата активност, приема на протеини, анаболната хормонална активност и нивата на витамин D, но също и с антиинфламаторния статус, поради повишен вътреклетъчен оксидативен стрес (11,64). Спадовете на хормоналните нива на тестостерон, естроген и соматотропин при възрастните хора също допринасят за загуба на мускулна маса (36). Трябва да се отбележи, че е постулиран и генетичен компонент, с вариации в скоростта на походката, чистата телесна маса и силата на захват (36). Предполага се наличие на връзка между саркопенията, затлъстяването и остеопорозата - изследват се нови патологични единици като „остеосаркопения“ или „остеосаркопенично затлъстяване“, за да бъдат обяснени връзките, възникващи между трите най-представени тъкани на човешкото тяло, както и повлияването им от различни променливи, включително физическата активност, възрастта, генетиката и неопластичните и не-неопластичните заболявания (41,9). Доказано е, че предоперативната саркопения е независим неблагоприятен предиктор за няколко вида рак, като се свързва с по-лош клиничен изход по отношение на следоперативни усложнения, брой дни на хоспитализация, заболеваемост, смъртност и по-ниска толерантност към химио- и лъчетерапия (58,13,42,66,21,20,31,47). Проучвания показват по-лоша прогноза за саркопенични пациенти след фрактури, след трансплантация на органи и големи хирургични интервенции - това подчертава значението на оценката на мускулатурата и начина на хранене на пациентите за по-добро планиране на персонализирана и ефективна стратегия за лечение (26,6,22,39,35,7). Освен това саркопенията е свързана с повишен риск от падания и последващи фрактури при възрастни хора, особено когато е в комбинация с остеопороза (38).

Диагнозата на саркопенията трябва да включва оценка на мускулната маса (посредством методите на образната диагностика) и мускулната

функция (посредством устройства за измерване силата на захвата или тест за скорост на походката) (19,15,57). В последните препоръки от 2018 г. спадът в мускулната функция се смята за по-важен критерий при дефиниране на саркопенията, поради по-силна асоциация с неблагоприятни прояви, докато мускулният обем се посочва като втори по важност (18). С оглед на по-трудната възпроизводимост на тестването на мускулната функция квантификацията на мускулния обем (мускулното количество) с методите на образната диагностика е адекватна алтернатива.

Преди да се пристъпи към образните модалности, първоначалното търсене на саркопенията може да бъде извършено чрез повсеместно достъпни, но крайно ненадеждни антропометрични измервания в амбулаторията - обиколка на прасеца или обиколка на средната трета на предмишницата (63). Като втори клиничен вариант се явява скалата SARC-F (*Strength, Assistance with walking, Rising from a chair, Climbing stairs, and Falls*), която е един от най-често използваните инструменти за скрининг за физикалните прояви на саркопенията; представлява въпросник с 5 елемента, който позволява бързото изследване на физическата функция на пациентите (57). Анализът на биоелектрическия импеданс е друг инструмент за оценка на състоянието на мускулите, състоящ се в провеждането на електрически ток с нисък интензитет през тялото и изчисляване на мускулната маса въз основа на токовата й проводимост (63). EWGSOP препоръчва оценка за саркопения на всички хора над 65 години, започвайки с тест за скорост на походката, последван от оценка на силата на захвата (16).

Целият спектър от методи за медицинско изобразяване - двойно енергийна рентгенова абсорбциометрия (DEXA), компютърна томография (CT), магнитен резонанс (MR) и ултразвук (US), предлага различно успешни варианти за оценка на мускулната маса и осигуряване на възпроизводими данни, които да помогнат за поставяне на диагнозата саркопения. Основните от тях са посочени в табл. 1. В табл. 2 същите са оценени по различни критерии.

Двуенергийна рентгенова абсорбциометрия

DEXA е най-често използвания образен метод за оценка на състава на тялото (body composition,

Табл. 1. Образни методи за оценка на скелетна мускулна маса (2)

Модалност	**Начин на измерване**	**Предимства и недостатъци**
DEXA	Автоматично анализиране на степента на отслабване на рентгенови лъчи с две различни енергии	Точен и надежден метод с минимална йонизираща доза
CT	Ръчно или чрез изкуствен интелект определяне на напречното сечение или обема на целеви мускул или мускулна група	Скъп метод, налагащ допълнителна обработка на изображенията и асоцииран с голяма йонизираща доза
MR	Ръчно или чрез изкуствен интелект определяне на напречното сечение или обема на целеви мускул или мускулна група	Скъп метод, налагащ допълнителна обработка на изображенията, но лишен от йонизираща доза и доставящ потенциално огромен обем информация

Табл. 2. Оценка на антропометрията и различните образни модалности при диагностика на саркопения (53)

	Антропометрия	**DEXA**	**CT**	**MR**	**US**
Лекота на изпълнение	+++	+	–	– –	+
Достъпна цена	+++	+	–	– – –	+
Точност на резултатите	–	++	+++	+	?
Богатство на добитата информация	–	+	++	+++	+
Възпроизводимост	–	++	++	++	–
Приложимост в клинични условия	+	+	–	–	+
Приложимост в научни условия	–	++	+++	+++	?

ВС). Състои се в нискодозово сканиране на цялото тяло, извършено с рентгенови лъчи с две различни енергии. DEXA позволява едновременното косвено определяне на мускулна маса (lean mass, LM), целотелесна мастна маса (FM) и костно минерално съдържание (bone mineral content, BMC). Установена е силна корелация между измерените с DEXA и CT стойности на FM и LM (32,30,33).

При клинични съмнения за саркопения DEXA може да определи наличието на спад в мускулната маса. За целта DEXA използва мускулната маса на крайниците (appendicular lean mass, ALM), като я преобразува в индекс (appendicular lean mass index; ALMI=ALM/ръст^2), за да се преодолее ефекта на ръста и да може стойностите да са сравними между индивидите (17). Според последните препоръки на EWGSOP понижение в мускулната маса може да се дефинира при ALMI<5,5 kg/m^2 при жени и ALMI<7,0 kg/m^2 за мъже (17). Данните от DEXA следва да бъдат интегрирани с клинични и физически показатели.

Откъм недостатъци следва да се спомене, че DEXA е неспособна да извършва качествена оценка на мускулите (мастна инфилтрация на същите). Измерванията също така могат да се повлияят от степента на хидратация на пациента (17). Въпреки това в клиничната практика предимствата на DEXA надминават ограниченията - актуалните насоки на EWGSOP предлагат DEXA като образна модалност на първа линия, докато CT и MR се препоръчват предимно за изследователски цели (17). Освен това DEXA може да предостави едновременно и информация за състава на тялото и състоянието на костите, което може да бъде от решаващо значение за по-добрата оценка на комплексни синдроми, включително остеопороза, затлъстяване и кахексия (41). DEXA е клинично приложима и добре поносима техника.

Компютърна томография

CT също е рентгенов метод с йонизираща доза, която е значително по-висока от тази при DEXA. При CT се добиват посрезови серии от изображения, позволяващи точна пространствена локализация и обективизиране на степента на отслабване на рентгеновите лъчи на всяка структура чрез скалата на Хънсфилдовите единици (HU). Това позволява CT да се използва за оценка както на количеството мускулната маса, така и на качеството ѝ, тъй като мускулната плътност е свързана със степента на мастна инфилтрация (33). Докато DEXA позволява оценка на мускулната маса на цялото тяло, CT може да измерва размерите и рентгеновата плътност на отделни мускули. Освен това CT позволява прецизна квантификация на обема на даден мускул или мускулна група. Въпреки това дори планиметричните измервания на сечението на даден мускул (най-често psoas), получени от единичен аксиален срез от CT, демонстрират силна корелация с общото състояние на скелетните мускули (9,59). По този начин се спестява време за ръчна сегментация на желания обем или се спестяват финансови ресурси за изкуствен интелект, който целенасочено да сегментира обема на даден мускул.

CT има голямото предимство, че се извършва рутинно за стадиране и проследяване на различни видове карциноми и няколко други състояния, което го прави оптимален за опортюнистична оценка на саркопения без необходимост от допълнителни изследвания. По отношение на измерванията за саркопения CT в момента се използва преобладаващо за изследователски цели в проспективен или особено ретроспективен анализ (33,48). Предпочитат се контрастно неусилени срези за максимално обективни измервания на плътността (8).

Използват се различни методи за измерване на мускулна маса и качество от CT изображения (33). Най-често цитираният метод е планиметричен, разчитащ на единичен сканиран срез през прешленно тяло L3 - така при проспективни проучвания се спестява по-голямата част от йонизиращата доза за пациента и също така, независимо от про- или ретроспективния характер на анализа, се спестява времето за обработка на изображенията на интерпретиращия (37). За да се получи площта на напречното сечение (CSA) на даден мускул, на избрания срез може ръчно да се очертаят контурите му като регион на интерес (ROI) - ръчна сегментация. Като алтернатива се явява автоматична или полуавтоматична сегментация на мускулна тъкан, използваща стандартизирани прагове (от –29 HU до +150 HU) (37). Целта на сегментацията са или двата мускули psoas на ниво прешленно тяло L3 или L4, или всички мускули (psoas major, rectus abdominis, obliquus externus, obliquus internus, latissimus dorsi, quadratus lumborum, spinalis, iliocostalis, longissimus thoracis, erector spinae), обхванати в един аксиален срез през абдомена, получен на същото ниво (3,37).

Площта на напречното сечение обикновено не се използва самостоятелно, а се преобразува по формулата:

площ на напречното сечение/ръст на пациента²

в индекс на скелетните мускули (SMI), за да се вземе под внимание влиянието на ръста на пациента. Най-често срещаните гранични стойности на SMI, които се използват за оценка на мускулната маса при CT, варират от 52 до 55 cm^2/m^2 за мъже и от 39 до 41 cm^2/m^2 за жени (3).

HUAC (Hounsfield unit average calculation) е образен маркер за саркопения, който се изчислява от единичен CT аксиален срез на ниво прешленно тяло L4 по следната формула (9):

(площ на десен m. psoas ***x*** *плътност на същия) + (площ на ляв m. psoas x плътност на същия)/ обща площ на двата mm. psoas*

HUAC се предпочита, защото не зависи от ръста на пациента и защото се добива от солитарен срез. Определянето на площта и плътността на mm. psoas могат да се извършат отново с ръчна или полуавтоматична сегментация. Нивата на HUAC за дефиниране на саркопения варират между 26 и 38 в различните източници, като се взимат стойностите от най-ниския квартил за съответната популация (67,23).

PI (psoas index) също е образен маркер за саркопения. Въпреки че е ефективен стандартизиран тест, той не се предпочита поради необходимостта от включването на ръста на пациента в калкулацията (9,67):

(площ на десен m. psoas + площ на ляв m. psoas)/ височина на пациента²

При ретроспективни изследвания (при които е сканиран целият абдомен, а не само солитарен срез) е възможно да се сегментира и целият обем на даден мускул, като за целта отново се използва полуавтоматична сегментация, която селектира всички воксели в желания обем, които са с рентгенова плътност в диапазона на скелетните мускули. След това ръчно, срез по срез, се изключват от селекцията всички воксели, които не са част от мускулатурата. След прецизиране на селекцията сегментиращият софтуер може да изчисли точния обем на същата. Този вид квантификация, макар максимално точна, се използва рядко поради особено времеемкия си характер.

Магнитнорезонансна томография

MR, подобно на CT, позволява планиметрично и волуметрично измерване на мускулната и мастната тъкан поради своята висока контрастна разделителна способност и мултипараметричност, но без асоциираната с CT йонизираща доза (2). Съществува силна корелация между планиметричните и волуметричните резултати, добити от CT и MR (до r=0,99) при анализ на BC на трупове (3,2,44). Въпреки това проучвания с MR са проведени върху различни мускулни области, без стандартизация на протокол за изображения и биомаркери (12,65,68,49). Допълнителен усложняващ фактор е значителната цена на MR изобразяването. С оглед на различния физичен принцип, на който работи MR спрямо CT, изчисляването на HUAC е невъзможно при MR, но PI може да се определи без проблем.

Освен че предоставя същата информация като CT за мастната инфилтрация, MR може да оцени качеството на мускулите, предоставяйки данни относно мускулен оток и фиброзна инфилтрация (24,60,28). Разграничаването на мазнини и вода може да се извърши с помощта на бързи градиентни пулсови секвенции като техниката на Dixon, които позволяват обективна квантификация на интрамускулната мастна тъкан (34). Освен това секвенциите на Диксън предлагат по-добра възпроизводимост и обхват на изследването в сравнение с H^1 MR едновокселната спектроскопия, тъй като последната е ограничена от нехомогенността на мастната инфилтрация и от малкия си обхванат обем (2,27). Мултивокселна спектроскопия може да преодолее тези ограничения, но тя рядко се упоменава в литературата по отношение на саркопения (25).

Като допълнителна субмодалност потенциално използваема в изследването на саркопения с MR се явява тензорното изобразяване на скоростта на деформация (strain rate tensor imaging) (60). Данните се добиват от скоростно кодирани MR изображения, използващи свръхбързи пулсови секвенции. Strain rate описва скоростта на регионална деформация и позволява оценка на мускулния контрактилитет и еластичност (60). Промените в тези свойства при саркопения се обуславят от увеличението на неконтрактилните компоненти на мускулите (мастната и фиброзната тъкан). Strain rate tensor imaging не се използва масово в областта на саркопенията и може да има по-съществено значение в бъдеще.

Други квантитативни MR субмодалности с потенциална бъдеща употреба при саркопенията са дивизионното тензорно изобразяване (DTI), първоначално създадено за проследяване на нервни влакна, но все по-често прилагано в изследвания на опорно-двигателния апарат (15), както и T2 картирането, обикновено използвано за изобразяване на хрущял (1). DTI позволява оценка на микроструктурните промени в архитектурата на мускулните влакна, водещи до промени в дифузията на водата и фракционната анизотропия (FA) (2). Дифузията и FA са свър-

зани с посоката на ориентация на водните молекули във външно магнитно поле - тя е променена в засегнатите от мастна инфилтрация мускули на саркопеничните пациенти (60,40). Мултиехо секвенциите, използвани за Т2 картиране, може да идентифицират патологичното повишаване на стойностите на Т2 на мастно инфилтрирани мускули при пациенти със саркопения поради структурни промени и тъканна дезорганизация (40,4). Едно проучване съобщава за значително по-високи стойности на FA и Т2 в quadriceps femoris на физически слаби пациенти (40). За съжаление, както и при останалите квантитативни MR техники, разпространението на DTI и Т2 картирането е ограничено само в най-големите университетски центрове и цената на приложение е значителна.

MR е обещаваща техника на изследване при пациенти със саркопения, с огромното предимство на нейонизиращ безвреден метод. MR предлага богатство от потенциална информация за състоянието на пациента - както количествена, така и качествена, но налага значителни разработки в посока на подобрение на точността и възпроизводимостта, както и изработване на широко приета стандартизация на протоколите. Също така използването на MR налага влагането на огромен финансов, човешки и времеви ресурс - по-голям от всички останали описани модалности (2).

Ултрасонография

US е евтин и безвреден образен метод, лесно приложим в клиничната практика и при големи проучвания на населението. Апаратурата за US е широко разпространена, лесна за употреба и мобилна - позволява приложение във всякакви условия, повсеместно. Въпреки тези предимства US е крайно зависим от компетентността на оператора, правейки го едно от най-зле възпроизводимите образни изследвания.

US може да бъде надежден метод за оценка на мускулната маса и качество (2,45). Мускулната маса може да бъде определена чрез оценка на CSA и/или чрез измерване на мускулната дебелина, както и мускулен обем (като волуметричното характеризиране е значително по-времеемко и неточно спрямо другите томографски методи - CT и MR). Докладвана е висока степен на съгласие между опитни интерпретиращи със стриктен US протокол при определяне на CSA, както и добра корелация между резултатите за CSA и обем, добити от US и MR (56,62,5). Повечето US изследвания са проведени върху quadriceps femoris, докато по-малко се фокусират върху други мускули като постуралните мускули на долните крайници (29).

US предоставя и качествена информация за мускулатурата, тъй като нейната ехотекстура зависи от интрамускулното съдържание на масти и фиброзна тъкан (52). Напоследък някои изследователски групи използват компютърно подпомагане за анализ на сивата скала и за оценка на качеството на скелетните мускули. Установена е очаквана връзка между дебелината на vastus medialis и мускулната сила при пациенти в напреднала възраст (61).

Други определими с US параметри, потенциално важни в контекста на саркопенията, са ъгълът на подредба на мускулните влакна спрямо оста на тялото на мускула, както и дължината на отделните мускулни фасцикули, оценени в покой и по време на контракция. Те демонстрират асоциация със загубата на максимална сила и забавянето на скоростта на контракция, които се наблюдават при саркопения (50,46).

Други потенциални приложения на US като еластография и контраст усилено изобразяване са предложени за оценка на промените в микроваскуларизацията и при мускулна скованост, свързани със саркопения, но данните все още са крайно оскъдни (10,43).

Въпреки установените традиции в употребата на US за характеризиране на опорно-двигателния апарат и многото му предимства понастоящем липсват широко одобрени стандарти за оценка на загубата на мускулна маса и качество, значително ограничавайки приложението му при саркопения (55,54).

ИЗВОДИ

DEXA е най-наложената образна модалност с ясно дефинирани гранични стойности за диагностициране на саркопения, както и ниска йонизираща доза. Тя се радва на лекота на употреба поради почти пълната автоматизация на анализа. От томографските модалности CT е най-обещаващата с ясни гранични стойности за мускулна маса. Въпреки това в момента няма приети прагове за CT стойностите на мастната инфилтрация. Освен това особено дългото време, необходимо за ръчна или полуавтоматична сегментация, прави рутинното прилагане на тази методика несъвместимо с всекидневната клинична практика. MR и US по различни причини са крайно субоптимални в диагностиката на саркопенията. И двете имат потенциал да играят важна роля: MR предлага особено богат набор от потенциална информация на големите научни

центрове, способни да отделят значителен финансов ресурс, а US е евтина, безвредна и повсеместно достъпна, нуждаеща се от стандартизация и добре обучен екип от оператори. Специалистите по образна диагностика ще играят кардинална роля в контекста на диагностиката на саркопенията в бъдеще. Това налага широко обучение на колегите от тази специалност, което да насочи вниманието им към развиващата се концепция за саркопенията, както и установяване на необходимите диагностични стандарти там, където липсват.

ЛИТЕРАТУРА

1. Albano D, Chianca V, Cuocolo R et al (2018) T2-mapping of the sacroiliac joints at 1.5 Tesla: a feasibility and reproducibility study. Skeletal Radiol 47:1691–1696
2. Albano D, Messina C, Vitale J, Sconfienza LM. Imaging of sarcopenia: old evidence and new insights. Eur Radiol. 2020 Apr;30(4):2199-2208. doi: 10.1007/s00330-019-06573-2. Epub 2019 Dec 13. PMID: 31834509.
3. Amini B, Boyle SP, Boutin RD, Lenchik L (2019) Approaches to assessment of muscle mass and myosteatosis on computed tomography (CT): a systematic review. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. https://doi.org/10.1093/gerona/glz034
4. Azzabou N, Hogrel JY, Carlier PG (2015) NMR based biomarkers to study age-related changes in the human quadriceps. Exp Gerontol 70:54–60
5. Berger J, Bunout D, Barrera G et al (2015) Rectus femoris (RF) ultrasound for the assessment of muscle mass in older people. Arch Gerontol Geriatr 61:33–38
6. Bokshan SL, DePasse JM, Daniels AH (2016) Sarcopenia in orthopedic surgery. Orthopedics 39:e295–e300
7. Boutin RD, Bamrungchart S, Bateni CP et al (2017) CT of patients with hip fracture: muscle size and attenuation help predict mortality. AJR Am J Roentgenol 208:W208–W215
8. Boutin RD, Kaptuch JM, Bateni CP, Chalfant JS, Yao L (2016) Influence of IV contrast administration on CT measures of muscle and bone attenuation: implications for sarcopenia and osteoporosis evaluation. AJR Am J Roentgenol 207:1046–1054
9. Boutin RD, Yao L, Canter RJ, Lenchik L. Sarcopenia: Current Concepts and Imaging Implications. AJR Am J Roentgenol. 2015 Sep;205(3):W255-66. doi: 10.2214/AJR.15.14635. Epub 2015 Jun 23. PMID: 26102307.
10. Brandenburg JE, Eby SF, Song P et al (2014) Ultrasound elastography: the new frontier in direct measurement of muscle stiffness. Arch Phys Med Rehabil 95:2207–2219
11. Brioche T, Pagano AF, Py G, Chopard A (2016) Muscle wasting and aging: experimental models, fatty infiltrations, and prevention. Mol Aspects Med 50:56–87
12. Burian E, Syväri J, Holzapfel C et al (2018) Gender-and age-related changes in trunk muscle composition using chemical shift encoding-based water–fat MRI. Nutrients 10:1–13
13. Chang KV, Chen JD, Wu WT, Huang KC, Hsu CT, Han DS (2018) Association between loss of skeletal muscle mass and mortality and tumor recurrence in hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis. Liver Cancer 7:90–103
14. Chianca V, Albano D, Messina C et al (2017) Diffusion tensor imaging in the musculoskeletal and peripheral nerve systems: from experimental to clinical applications. Eur Radiol Exp 1:12
15. Correa-de-Araujo R, Hadley E (2014) Skeletal muscle function deficit: a new terminology to embrace the evolving concepts of sarcopenia and age-related muscle dysfunction. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 69:591–594
16. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM et al (2010) Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis—report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. Age Ageing 39:412–423
17. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J et al (2019) Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing 48:16–31
18. 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 Jan 1;48(1):16-31. doi: 10.1093/ageing/afy169. Erratum in: Age Ageing. 2019 Jul 1;48(4):601. PMID: 30312372; PMCID: PMC6322506.
19. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM et al (2014) Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). Age Ageing 43:748–759
20. Deng HY, Hou L, Zha P, Huang KL, Peng L (2019) Sarcopenia is an independent unfavorable prognostic factor of non-small cell lung cancer after surgical resection: a comprehensive systematic review and meta-analysis. Eur J Surg Oncol 45:728–735
21. Deng HY, Zha P, Peng L, Hou L, Huang KL, Li XY (2019) Preoperative sarcopenia is a predictor of poor prognosis of esophageal cancer after esophagectomy: a comprehensive systematic

review and meta-analysis. Dis Esophagus. https://doi.org/10.1093/dote/doy115

22. Dirks RC, Edwards BL, Tong E et al (2017) Sarcopenia in emergency abdominal surgery. J Surg Res 207:13–21

23. Dirks RC, Edwards BL, Tong E, Schaheen B, Turrentine FE, Shada A, Smith PW. Sarcopenia in emergency abdominal surgery. J Surg Res. 2017 Jan;207:13-21. doi: 10.1016/j.jss.2016.08.015. Epub 2016 Aug 10. PMID: 27979468.

24. Fischer MA, Pfirrmann CWA, Espinosa N, Raptis DA, Buck FM (2014) Dixon-based MRI for assessment of muscle-fat content in phantoms, healthy volunteers and patients with achillodynia: comparison to visual assessment of calf muscle quality. Eur Radiol 24:1366–1375

25. Forbes SC, Lott DJ, Finkel RS et al (2012) MRI/MRS evaluation of a female carrier of Duchenne muscular dystrophy. Neuromuscul Disord 22(Suppl 2):S111–S121

26. Friedman J, Lussiez A, Sullivan J, Wang S, Englesbe M (2015) Implications of sarcopenia in major surgery. Nutr Clin Pract 30:175–179

27. Grimm A, Meyer H, Nickel MD et al (2018) Repeatability of Dixon magnetic resonance imaging and magnetic resonance spectroscopy for quantitative muscle fat assessments in the thigh. J Cachexia Sarcopenia Muscle 9:1093–1100

28. Grimm A, Nickel MD, Chaudry O et al (2019) Feasibility of Dixon magnetic resonance imaging to quantify effects of physical training on muscle composition-a pilot study in young and healthy men. Eur J Radiol 114:160–166

29. Guerri S, Mercatelli D, Aparisi Gómez MP et al (2018) Quantitative imaging techniques for the assessment of osteoporosis and sarcopenia. Quant Imaging Med Surg 8:60–85

30. Guglielmi G, Ponti F, Agostini M, Amadori M, Battista G, Bazzocchi A (2016) The role of DXA in sarcopenia. Aging Clin Exp Res 28:1047–1060

31. Hu X, Dou WC, Shao YX et al (2019) The prognostic value of sarcopenia in patients with surgically treated urothelial carcinoma: a systematic review and meta-analysis. Eur J Surg Oncol 45:747–754

32. Kullberg J, Brandberg J, Angelhed JE et al (2009) Whole-body adipose tissue analysis: comparison of MRI, CT and dual energy X-ray absorptiometry. Br J Radiol 82:123–130

33. Lenchik L, Boutin RD (2018) Sarcopenia: beyond muscle atrophy and into the new frontiers of opportunistic imaging, precision medicine, and machine learning. Semin Musculoskelet Radiol 22:307–322

34. Li K, Dortch RD, Welch EB et al (2014) Multi-parametric MRI characterization of healthy human thigh muscles at 3.0 T - relaxation, magnetization transfer, fat/water, and diffusion tensor imaging. NMR Biomed 27:1070–1084

35. Lindström I, Khan N, Vänttinen T, Peltokangas M, Sillanpää N, Oksala N (2019) Psoas muscle area and quality are independent predictors of survival in patients treated for abdominal aortic aneurysms. Ann Vasc Surg 56:183–193.e3

36. Marty E, Liu Y, Samuel A, Or O, Lane J (2017) A review of sarcopenia: enhancing awareness of an increasingly prevalent disease. Bone 105:276–28

37. Matsumoto T, Tanizawa K, Tachikawa R, Murase K, Minami T, Inouchi M, Handa T, Oga T, Hirai T, Chin K. Associations of obstructive sleep apnea with truncal skeletal muscle mass and density. Sci Rep. 2018 Apr 25;8(1):6550. doi: 10.1038/s41598-018-24750-z. PMID: 29695811; PMCID: PMC5916913.

38. Mattera M, Reginelli A, Bartollino S et al (2018) Imaging of metabolic bone disease. Acta Biomed , Hirschfeld HP, Kinsella R, Duque G (2017) Osteosarcopenia: where bone, muscle, and fat collide. Osteoporos Int 28:2781–2790 , Messina C, Monaco CG, Ulivieri FM, Sardanelli F, Sconfienza LM (2016) Dual-energy X-ray absorptiometry body composition in patients with secondary osteoporosis. Eur J Radiol 85:1493–1498

39. Meeks AC, Madill J (2017) Sarcopenia in liver transplantation: a review. Clin Nutr ESPEN 22:76–80

40. Melville DM, Mohler J, Fain M et al (2016) Multi-parametric MR imaging of quadriceps musculature in the setting of clinical frailty syndrome. Skeletal Radiol 45:583–589

41. Messina C, Maffi G, Vitale JA, Ulivieri FM, Guglielmi G, Sconfienza LM (2018) Diagnostic imaging of osteoporosis and sarcopenia: a narrative review. Quant Imaging Med Surg 8:86–99

42. Mintziras I, Miligkos M, Wächter S, Manoharan J, Maurer E,Bartsch DK (2018) Sarcopenia and sarcopenic obesity are significantly associated with poorer overall survival in patients with pancreatic cancer: systematic review and meta-analysis. Int J Surg 59:19–26

43. Mitchell WK, Phillips BE, Williams JP et al (2013) Development of a new Sonovue contrast-enhanced ultrasound approach reveals temporal and age-related features of muscle microvascular responses to feeding. Physiol Rep 1:e00119

44. Mitsiopoulos N, Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lyons W, Gallagher D, Ross R (1998) Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. J Appl Physiol (1985) 85:115–122

45. Mourtzakis M, Parry S, Connolly B, Puthucheary Z (2017) Skeletal muscle ultrasound in critical care: a tool in need of translation. Ann Am Thorac Soc 14:1495–1503

46. Narici M, Franchi M, Maganaris C (2016) Muscle structural assembly and functional consequences. J Exp Biol 219:276–284

47. Pamoukdjian F, Bouillet T, Lévy V, Soussan M, Zelek L, Paillaud E (2018) Prevalence and predictive value of pre-therapeutic sarcopenia in cancer patients: a systematic review. Clin Nutr 37:1101–1113

48. Pescatori LC, Savarino E, Mauri G et al (2019) Quantification of visceral adipose tissue by computed tomography and magnetic resonance imaging: reproducibility and accuracy. Radiol Bras 52

49. Power GA, Allen MD, Booth WJ, Thompson RT, Marsh GD, Rice CL (2014) The influence on sarcopenia of muscle quality and quantity derived from magnetic resonance imaging and neuromuscular properties. Age (Dordr) 36:9642

50. Randhawa A, Wakeling JM (2013) Associations between muscle structure and contractile performance in seniors. Clin Biomech (Bristol, Avon) 28:705–711

51. Rosenberg IH (1989) Summary comments. Am J Clin Nutr 50: 1231–1233

52. Rosenberg JG, Ryan ED, Sobolewski EJ, Scharville MJ, Thompson BJ, King GE (2014) Reliability of panoramic ultrasound imaging to simultaneously examine muscle size and quality of the medial gastrocnemius. Muscle Nerve 49:736–740

53. Rubbieri G, Mossello E, Di Bari M. Techniques for the diagnosis of sarcopenia. Clin Cases Miner Bone Metab. 2014 Sep;11(3):181-4. PMID: 25568650; PMCID: PMC4269140

54. Sconfienza LM (2019) Sarcopenia: ultrasound today, smartphones tomorrow? Eur Radiol 29:1–2

55. Sconfienza LM, Albano D, Allen G et al (2018) Clinical indications for musculoskeletal ultrasound updated in 2017 by European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR) consensus. Eur Radiol 28:5338–5351

56. Scott JM, Martin DS, Ploutz-Snyder R et al (2012) Reliability and validity of panoramic ultrasound for muscle quantification. Ultrasound Med Biol 38:1656–1661

57. Sergi G, Trevisan C, Veronese N, Lucato P, Manzato E (2016) Imaging of sarcopenia. Eur J Radiol 85:1519–1524

58. Shachar SS, Williams GR, Muss HB, Nishijima TF (2016) Prognostic value of sarcopenia in adults with solid tumours: a meta-analysis and systematic review. Eur J Cancer 57:58–67

59. Shen W, Punyanitya M, Wang Z et al (2004) Total body skeletal muscle and adipose tissue volumes: estimation from a single abdominal cross-sectional image. J Appl Physiol (1985) 97:2333–2338

60. Sinha U, Malis V, Csapo R, Moghadasi A, Kinugasa R, Sinha S (2015) Age-related differences in strain rate tensor of the medial gastrocnemius muscle during passive plantarflexion and active isometric contraction using velocity encoded MR imaging: potential index of lateral force transmission. Magn Reson Med 73:1852– 1863

61. Strasser EM, Draskovits T, Praschak M, Quittan M, Graf A (2013) Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. Age (Dordr) 35:2377–2388

62. Ticinesi A, Meschi T, Narici MV, Lauretani F, Maggio M (2017) Muscle ultrasound and sarcopenia in older individuals: a clinical perspective. J Am Med Dir Assoc 18:290–300

63. Tosato M, Marzetti E, Cesari M et al (2017) Measurement of muscle mass in sarcopenia: from imaging to biochemical markers. Aging Clin Exp Res 29:19–27

64. Vezzoli A, Mrakic-Sposta S, Montorsi M et al (2019) Moderate intensity resistive training reduces oxidative stress and improves muscle mass and function in older individuals. Antioxidants (Basel) 8:E431

65. Watanabe K, Ohashi M, Hirano T et al (2018) The influence of lumbar muscle volume on curve progression after skeletal maturity in patients with adolescent idiopathic scoliosis: a long-term follow up study. Spine Deform 6:691–698.e1

66. Yang Z, Zhou X, Ma B, Xing Y, Jiang X, Wang Z (2018) Predictive value of preoperative sarcopenia in patients with gastric cancer: a meta-analysis and systematic review. J Gastrointest Surg 22:1890–1902

67. Yoo T, Lo WD, Evans DC. Computed tomography measured psoas density predicts outcomes in trauma. Surgery. 2017 Aug;162(2):377-384. doi: 10.1016/j.surg.2017.03.014. Epub 2017 May 24. PMID: 28551380; PMCID: PMC5893151.

68. Zoico E, Corzato F, Bambace C et al (2013) Myosteatosis and myofibrosis: relationship with aging, inflammation and insulin resistance. Arch Gerontol Geriatr 57:411–416.

Адрес за кореспонденция:
Георги Вълчев
Медицински колеж
бул. „Цар Освободител“ 84
Варна, 9000
e-mail: georgi.valchev@mu-varna.bg