



Katarina Puš

Metode merjenja mišične kakovosti za razvrščanje sarkopenije

Izvleček

Mišična kakovost je besedna zveza, ki se nanaša na mikro- in makroskopske spremembe mišične arhitekture in kompozicije. Trenutno še nimamo enotne definicije mišične kakovosti, zato se uporablja več različnih metod merjenja. Mišično kakovost merimo prek dveh komponent: živčno-mišične in morfološke. Za drugo najpogostejše uporabljamo slikovno diagnostiko, za prvo pa razmerja med mišično jakostjo na enoto mišične mase oziroma volumna. Mišična kakovost je pomemben parameter pri ugotavljanju in razvrščanju sarkopenije, zato smo se osredotočili na metode merjenja mišične kakovosti za diagnosticiranje sarkopenije.

Ključne besede: mišična kakovost, merjenje, definicija, sarkopenija.



Foto: osebni arhiv

Muscle quality assessment for sarcopenia classification

Abstract

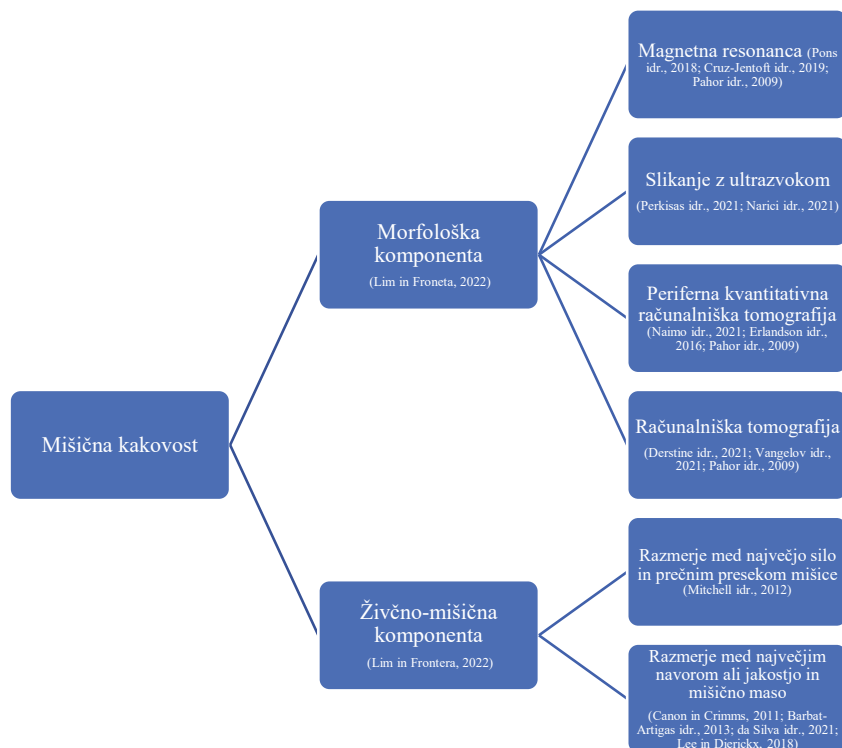
Muscle quality is a term that refers to micro- and macroscopic changes in muscle architecture and composition and to muscle function delivered per unit of muscle mass. Therefore, a lot of different measurement methods are in use. Muscle quality can be assessed through two components: neuromuscular and morphological. Latter is usually assessed by imaging techniques, neuromuscular component uses ratios between muscle strength per muscle mass unit or volume. Muscle quality is an important parameter of sarcopenia definition and diagnosis, thus we have focused on muscle quality assessment methods for sarcopenia diagnosis.

Keywords: muscle quality, assessment, definition, sarcopenia.

Uvod

Besedna zveza mišična kakovost opisuje sposobnost skeletne mišice, ki ji omogoča učinkovito izvedbo različnih funkcij ter vključuje sposobnost razvoja sile, krčenje in sproščanje, hrambo toplotne energije in električno prevodnost (Fragala idr., 2015; Correa-de-Araujo idr., 2017). Čeprav še nimamo enotne definicije mišične kakovosti, izraz omogoča raziskovanje več komponent mišične kakovosti, ki so neposredno povezane z mišično funkcijo. Pojem mišična kakovost se večkrat pojavlja v raziskovanju staranja, v različnih študijah so ugotovili povezavo med večjo mišično kakovostjo in povečano mišično jakostjo (*angl. strength*), izboljšano funkcijo in telesno zmogljivostjo (Fragala idr., 2015; Brown idr., 2016). Mišična kakovost je videna kot kritično pomembna mera za ugotavljanje telesnih zmogljivosti starejših, predvsem za ohranjanje učinkovitosti gibanja in zmanjšanje telesnih poškodb, poleg tega pa je ena izmed pomembnejših mer za diagnosticiranje sarkopenije, a žal zaradi neenotne definicije še nima vidnejše vloge v protokolu razvrščanja sarkopenije (Cruz-Jentoft idr., 2019; Lim in Frontera, 2022).

Skeletna mišica je med metabolno najaktivnejšimi tkivi v človeškem telesu, a s staranjem izgublja raven metabolne aktivnosti in posledično lahko celotno telo izgublja mišično maso. Sarkopenija je definirana kot upad mišične mase (pa tudi jakosti in funkcije, kot to definira dinapenija) in je prepoznana kot mišična bolezen po mednarodni klasifikaciji bolezni (ICD-10). Evropska skupina, ki raziskuje sarkopenijo (EWGSOP), meni, da je mišična jakost boljši napovedovalec negativnih izidov (padci, zmanjšana mobilnost ipd.) kot zgolj mišična masa (Cruz-Jentoft idr., 2019). Predpostavlja se, da so ljudje z večjo mišično maso sposobni razvijati večje sile, so močnejši in imajo manj omejitev pri vsakdanjih opravilih. Mišična jakost je najustreznejši parameter funkcionalne zmogljivosti (sposobnost opravljanja delovnih in vsakodnevnih opravil), različne definicije mišične kakovosti pa lahko razložijo, zakaj je mišična masa relativno slabši pokazatelj funkcionalne zmogljivosti (Barbat-Artigas, 2013). S staranjem se pojavijo različne mišične spremembe, ki prizadenejo nevrološke, znotraj- in zunajcelične mehanizme v mišičnem tkivu. Nevrološke spremembe obsegajo zmanjšanje prenosa akcijskih potencialov po spodnjem motoričnem nevronu, spremembe v odgovoru na signal v spodnjem moto-



Slika 1. Delitev mišične kakovosti

ričnem nevronu, zmanjšano učinkovitost živčno-mišičnega prenosa in integriteto perifernih aksonov, kar vodi v zmanjšanje števila motoričnih enot (Lim in Frontera, 2022). Znotrajcelične spremembe obsegajo zmanjšano število prečnih mostičev aktina in miozina, spremenjeno kinetiko cikla prečnega mostiča, citoskeletno arhitekturo in pasivne mehanske lastnosti, porazdelitev različnih tipov vlaken, maščobne kapljice v mišičnih celicah, spremembo občutljivosti na inzulin in metabolizem kalcija ter združevanje kontrakcij (Lim in Frontera, 2022). Zunajcelične spremembe obsegajo spremembe v mišični velikosti in arhitekturi, površini prečnega prereza, togosti, viskoelastičnosti, elastičnosti ekstracelularnega matriksa in infiltraciji maščobe (Lim in Frontera, 2022).

Mišična kakovost delimo na dva dela, in sicer na morfološko in živčno-mišično komponento. Morfološka komponenta mišične kakovosti se nanaša na medmišično in znotrajmišično maščobno in fibrozno tkivo in se izraža kot količina nekontraktilnega tkiva v absolutnih pogojih in relativno v primerjavi s celotno velikostjo mišice. To komponento raziskujejo s slikovno diagnostiko,

kot so magnetna resonanca (MRI), periferna kvantitativna računalniška tomografija (pQCT), računalniška tomografija (CT) in ultrazvočno slikanje (UZ).

Živno-mišična komponenta kakovosti mišice je definirana kot sila, razvita na enoto mišične mase, in je navadno poročana kot razmerje med mišično jakostjo in prečnim presekom mišice. Obe komponenti sta pomembni pri starejših posameznikih za ohranjanje ali povečanje telesne zmogljivosti in metabolizma (Radaelli idr., 2021).

Treba je omeniti, da poleg omenjenih poznamo tudi invazivne tehnike odvzema mišičnih vzorcev, denimo mišično biopsijo, ki v omenjenem vzorcu izmerijo porazdelitev vlaken. Za opravljanje biopsije je treba pridobiti posebno dovoljenje etične komisije, v Sloveniji to ni dovoljeno za potrebe raziskovalnega dela (Naimo idr., 2021). Trenutno še ni zatega standarda merjenja mišične kakovosti, namen tega članka pa je predstaviti trenutne definicije mišične kakovosti in metode merjenja, ki se uporabljajo in bi lahko bile uporabljene v raziskovanju sarkopenije.

Metode merjenja morfološke komponente mišične kakovosti

Magnetna resonanca

MRI je občutljiva metoda za merjenje anatomske značilnosti mišice in tudi zaznavanja infiltracije maščobe v mišično tkivo, ki jo lahko uporabljajo za to usposobljeni zdravniki ali raziskovalci. Deluje na osnovi magnetnih lastnosti vodikovih protonov, ki sestavljajo velik del telesnih tkiv. Uporablja se tudi za zaznavo strukture in kompozicije posameznih mišic, razlikuje med edemom, maščobno infiltracijo in fibroznim tkivom. MRI je zlati standard merjenja mišičnega volumna in prečnega preseka mišice, omogoča namreč slikanje tkiv z visoko resolucijo, ki jih lahko loči po tipologiji vlaken. MRI ima nekaj slabosti, in sicer visoko nabavno ceno, visoko ceno preiskave, kompleksnost merjenja, množično nedostopnost, nezmožnost uporabe pri ljudeh s kovinskimi vsadki in omejeno velikost merjencev (Erlandson idr., 2016; Miljkovic in Zmuda, 2010; Naimo idr., 2021).

Slikanje z ultrazvokom

UZ je razširjeno raziskovalno orodje za merjenje mišične kvantitete, propadanje mišic (*angl. muscle wasting*), poleg tega ga nekateri avtorji omenjajo kot orodje za merjenje mišične kakovosti. UZ se počasi uveljavlja tudi kot orodje za množično merjenje, saj ga pri hospitaliziranih ljudeh lahko uporabljajo usposobljeni zdravniki. Poleg tega se lahko ultrazvok uporablja tudi pri ljudeh, ki imajo kronične nenalezljive bolezni, kot sta bolezen koronarnih arterij in kronična obstruktivna pljučna bolezen, primeren je tudi pri bolnikih po kapi (Cruz-Jentoft idr., 2019). Evropsko društvo geriatrične medicine (EuGMS) je predlagalo protokol za uporabo ultrazvoka za ugotavljanje mišične strukture in arhitekture z mišično debelino, površino prečnega prereza, dolžino snopičev, kotom penacije in ehogenostjo (stopnja gostote tkiva) (Perkisas idr., 2021). Dodali so še štiri druge parametre: mišični volumen, togost, kontrakcijski potencial in mikrocirkulacija. Merjenje mišične togosti je mera, ki bi lahko razložila možno funkcionalnost mišice (sila, moč, čas sproščanja), predlagana tehnika pa je elastografija. Gre za novejšo tehniko, ki je še v razvoju, vendar bi lahko postala uporabna v množičnih meritvah (Perkisas idr., 2021). Sarkopenija se

v večji meri pojavlja v mišicah spodnjega dela telesa in lahko se zgodi, da se pojavi v nekaterih mišicah, v drugih pa ne. Pogosto se sarkopenične spremembe debeline mišice pokažejo v mišicah stegna in predela trebuha. Podobno se spremembe kažejo v razmerju med sprednjo in zadnjo stranjo stegna, odkrili pa so povezavo med debelino mišic podlahti in jakostjo stiska pesti. Z ultrazvokom je mogoče izmeriti tudi debelino mišice psoas, ki jo nekateri raziskovalci predstavljajo kot ustrezen parameter za prepoznavanje sarkopenije (Abe idr., 2014; Ticinesi idr., 2017).

Kljub temu uporaba ultrazvoka nima standardizirane metode v klinični praksi, rezultat meritev pa je odvisen od položaja merjenja, pritiska in naklona sonde ultrazvoka, najvišjo ponovljivost ima merjenje mišične debeline (Ticinesi idr., 2017).

Računalniška tomografija

CT je orodje, ki posname večje število rentgenskih slik telesa z različnih zornih kotov in omogoča večjo ločljivost kot zgolj rentgenski posnetki, posledično pa lahko razlikuje med različnimi vrstami telesnih tkiv, kot so kostna, mišična in maščobna masa (Zopfs idr., 2020). Uporablja se za različne namene, med drugim za natančno merjenje telesne sestave, uporabljamo slikanje specifičnega ledvenega vretenca – L3, ki je visoko koreliran z mišično maso celotnega telesa (Derstine idr., 2021; Vangelov idr., 2022). Precizno zaznava nizko mišično maso tudi pri ljudeh, ki imajo normalno ali previsoko telesno maso. Ta tehnika se uporablja predvsem pri onkoloških bolnikih, pri katerih spremlja odziv telesa na zdravljenje. Druga tehnika je slikanje srednjega dela stegna, saj je to dober napovedovalec mišične mase celotnega telesa in je zelo občutljiv na spremembe (Cruz-Jentoft idr., 2019; S. J. Lee idr., 2004). Tretja tehnika je merjenje mišice psoas, ki se sicer pogosto uporablja pri bolnikih s cirozo jeter ali po kolorektalni operaciji. Ta tehnika je sicer še pojem razprave, vendar se kaže, da bi lahko postala uporabna v klinični praksi (Gu idr., 2018; Hari, 2020; Rutten idr., 2017). Po mnenju raziskovalcev na področju sarkopenije je ta mišica premajhna, da bi lahko reprezentativno predstavljala prisotnost sarkopenije pri posamezniku (Cruz-Jentoft idr., 2019).

Slabosti te metode so visoka cena, zahteva po visoko usposobljenem merilcu, stacionarnost naprave in oddajanje sevanja. Kljub

temu pa je diagnostika s slikanjem z visoko resolucijo pričakovana metoda za uporabo v množične namene – najprej v raziskavah, nato v klinični praksi (Cruz-Jentoft idr., 2019).

Periferna kvantitativna računalniška tomografija

pQCT je podobna CT, ki se primarno uporablja za merjenje vsebnosti mineralov v kosteh in oceno kostne trdnosti (Erlandson idr., 2016). V primerjavi s CT je ta metoda cenejša, ima večjo mobilnost, je manjša, slikanje opravi hitreje in oddaja manj sevanja. Podobno pa ne more določiti lokacije znotrajmišične maščobe, oddaja sevanje in je ni mogoče uporabljati za merjenje anatomske značilnosti glede na osi. Najpogosteje se uporablja za slikanje meč in podlahti (Correa-de-Araujo idr., 2020; Erlandson idr., 2016).

Alternativni metodi

Alternativni metodi, kot sta bioimpedančna analiza (BIA) in dvoenergetska rentgenska absorpciometrija (DXA), se zdita primernejši za klinično prakso, čeprav široko soglasje v prid katerekoli izmed metod ni bilo doseženo (Ticinesi idr., 2017). EWGSOP navaja, da sta obe metodi primerni za uporabo v klinični praksi, saj sta obe značilno povezani z zlatim standardom za uporabo pri starejših preiskovancih (Cruz-Jentoft idr., 2019). Obe metodi se uporabljata za oceno mišične mase, čeprav nobena tega ne meri neposredno – za oceno se uporabljajo različne enačbe, ki omogočajo izračun. DXA oddaja manj sevanja in z njo lahko v nekaj minutah pridobimo podatke o apendikularni pusti masi, vendar ne zazna znotrajmišične maščobe, kar je omejitev za merjenje mišične kakovosti. Poleg tega DXA ni prenosljiva naprava, na rezultate pa vpliva hidracija merjenca. Kljub temu se podatki, pridobljeni z DXA, lahko uporabijo kot količnik za izračun mišične kakovosti (Beaudart idr., 2016; Cruz-Jentoft idr., 2019). Merjenje z BIA je metoda, ki ocenjuje volumen maščobe in puste mase; temelji na razmerju med volumnom prevodnika in njegovo električno upornostjo. Gre za cenejšo metodo, ki ne zahteva dodatno usposobljenega merilca, je enostavna za uporabo v klinični praksi, poleg tega pa so na voljo tudi referenčne vrednosti za starejšo populacijo. Slednje je prednost pri uporabi na ljudeh s sarkopenijo (Sergi idr., 2017).

Sklep

Samo s slikovnimi metodami ne moremo pridobiti podatkov o mišični kakovosti, zato je za izračun razmerja potrebna tudi druga komponenta – živčno-mišična.

■ Živčno-mišična komponenta mišične kakovosti

Merjenje živčno-mišične komponente mišične kakovosti je povezano z dvema merama, in sicer z mišično maso in jakostjo. Prečni presek mišice je ena izmed mer velikosti mišice in je pozitivno povezana z mišično jakostjo pri mladih zdravih posameznikih (McGregor idr., 2014). Razmerje med velikostjo mišice in sposobnostjo razvoja sile ni linearno, saj se jakost lahko povečuje neodvisno od večjih sprememb mišične velikosti, prav tako pa lahko pride do sprememb v mišični velikosti brez povečanja razvoja sile, kar nakazuje pomembno vlogo motorične kontrole. Poleg tega na sposobnost razvoja sile vplivajo tudi sestava tkiva (kontraktilne in nekontraktilne lastnosti), mišična arhitektura, metabolizem in raven aktivacije (Naimo idr., 2021).

V raziskavah se največkrat pojavlja definicija mišične kakovosti kot razmerje med mišično arhitekturo in funkcijo.

Razmerje med mišično jakostjo in apendikularno mišično maso

Mišično jakost lahko izmerimo na več načinov. Eden je največji navor izbrane mišice, ki ga delimo z apendikularno mišično maso, ki jo lahko pridobimo z bioimpedanco ali DXA in s tem izračunamo vrednost mišične kakovosti. Več avtorjev je v svojih raziskavah uporabilo enega ali več motoričnih testov, kot sta jakost stiska pesti in izometrično testiranje iztegovalk kolena, rezultat pa so delili s pusto telesno maso ali z apendikularno mišično maso. Nekateri avtorji so za pregled lokacije pojava sarkopenije mišično kakovost računali tudi glede na posamezen del telesa: zgornji in spodnji del. Pri tem so uporabili različne teste, za jakost rok najpogosteje izometrično jakost stiska pesti in za moč nog izometrično jakost iztega kolena (Akamatsu idr., 2022; Hairi idr., 2010; Ismail idr., 2015; Lees idr., 2019; Oba idr., 2021; Seo idr., 2020; Silva in Mulder, 2021). Tabela 1 predstavlja metode merjenja mišične kakovosti, ki bi lahko bile uporabljene na populaciji starejših in so varne

za izvedbo pri posameznikih brez akutnih stanj.

■ Prihodnje usmeritve

Trenutno še ni sprejetega konsenza glede metode merjenja mišične kakovosti; obstaja nekaj metod, s katerimi bi lahko pridobili informacije o mišični kakovosti. Ker je EWGSOP izpostavila usmeritev mišične kakovosti, ki naj bi se nanašala na mikro- in makroskopske spremembe mišične arhitekture in kompozije ter naj bi se izražala kot razmerje med mišično funkcijo in enoto mišične mase, bi izpostavili predvsem dve potencialni metodi.

Tenziomiografija

Tenziomiografija je metoda, ki meri mehanske kontraktilne lastnosti mišic. Izredno natančen senzor za zaznavo premika se namesti na trebuh mišice s kontrolirano mehansko prednapetostjo med konico senzorja in mišico. Z zagotovljeno in kontrolirano prednapetostjo se odziv mišic na en električni dražljaj poveča, kar izboljša merjenje dinamike krčenja. Iz merjenja dobimo krivuljo, iz katere lahko pridobimo

Tabela 1

Uporabljene metode za ugotavljanje sarkopenije in definicije

AVTOR	METODA	DEFINICIJA
Lees idr., 2019	Razmerje med jakostjo zgornjega ali spodnjega dela telesa in apendikularno pusto maso	Mišična jakost na enoto mišične mase
Ismail idr., 2015	Razmerje med gostoto tkiva, pridobljeno z diagnostičnim ultrazvokom, in največjo silo	
Hairi idr., 2010	Mišična kakovost zgornjega dela telesa, izračunana kot razmerje med jakostjo stiska pesti in pusto maso rok	Razmerje med mišično jakostjo in maso, ločeno po udih
Fukuda idr., 2017	Razmerje med jakostjo stiska pesti in skeletno-mišičnim indeksom	Mišična jakost na enoto mišične mase
Silva in Mulder, 2021	Razmerje med mišično jakostjo in apendikularno mišično maso	
C.-D. Lee in Dierickx, 2018	Izračun indeksov mišične kakovosti po formulah:	
Seo idr., 2020	Razmerje med največjim navorom, pridobljenim z merjenjem največje izometrične jakosti, in prečnim presekom mišice, izmerjenim z računalniško tomografijo	Mišična jakost ali moč na enoto mišične mase
Akamatsu idr., 2022	Razmerje med jakostjo stiska pesti in mišično maso zgornjega uda	Mišična funkcija, izražena na enoto mišične mase
Barbat-Artigas idr., 2013	Mišična kakovost zgornjega dela telesa je razmerje med jakostjo stiska pesti in mišično maso zgornjega uda, izmerjena z DXA Mišična kakovost spodnjega dela telesa je razmerje med jakostjo iztegovalk kolena in mišično maso spodnjega uda, izmerjena z DXA	Razmerje med mišično jakostjo in enoto mišične kvantitete
Canon in Crimmins, 2011	Razmerje med jakostjo iztegovalk kolena in pusto maso, ki je izmerjena z DXA in bioimpedanco	Mišična jakost na kilogram puste mase

parametre: največje amplitude radialnega odmika (Dm), čas zakasnitve (Td) od začetka električnega dražljaja do 10 % Dm, čas krčenja (Tc) od 10 do 90 % Dm, čas zadržka (Ts) odziva nad 50 % Dm in polovični čas sproščanja med 90 % in 50 % Dm (Šimunič, 2012). Ugotovili so, da so Td, Tc in Tr povezani z deležem počasnih mišičnih vlaken (Šimunič idr., 2011) in Dm je povezan z mišično atrofijo (Pišot idr., 2008; Šimunič idr., 2019) oziroma negativno povezan z mišično hipertrofijo (Zubac in Šimunič, 2017). Ti parametri kažejo na kontraktilne lastnosti mišice, ki bi lahko ustrezali definiciji mišične kakovosti; zaradi enostavne izvedbe testa in prenosljivosti naprave bi to lahko bila primerna metoda za epidemiološko in klinično razvrščanje sarkopenije.

Elektromiografija visoke gostote

Elektromiografija (EMG) je neinvazivna metoda, s katero merimo električno aktivnost mišice. Elektromiografija visoke gostote (HD-EMG) se nanaša na metodo, pri kateri elektromišični signal merimo z več kot dvema elektrodama na določeni površini mišice. Prednost te metode je, da omogoča dekompozicijo signala ter identifikacijo in spremljanje posameznih motoričnih enot. Ta metoda odpira številne možnosti raziskovanja živčno-mišičnega sistema, kot so medmišična in znotrajmišična koherenca, sinhronizacija daje nov poglobljen vpogled v kompleksne mehanizme vzdrževanja in aktivnosti motonevronov. S pomočjo te metode so pri starejših ljudeh potrdili spremenjeno delovanje motoričnih enot in zmanjšano modulacijo proženja motoričnih enot v primerjavi z mlajšo populacijo (del Vecchio idr., 2019). HD EMG bi lahko podrobneje razložila živčne spremembe, ki se zgodijo tako v starejšem obdobju kot pri ljudeh s sarkopenijo (Borzuola idr., 2020; Drost idr., 2006).

Zaključek

Trenutno se v znanosti uporablja več metod merjenja mišične kakovosti, za možno raziskovanje na večjih vzorcih pa je treba validirati metodo merjenja mišične kakovosti, ki je prenosljiva, zanesljiva in enostavna za uporabo ter primerna za uporabo na starejši populaciji, ki je najbolj podvržena sarkopeniji. V prvi vrsti pa je treba sprejeti konsenz pri definiciji mišične kakovosti, ki se lahko uporabi za mlajšo in starejšo populacijo in postopek klinične obravnave

za rizične skupine. Mišična kakovost ostaja problematična kot primerni parameter za razvrščanje sarkopenije predvsem zaradi tehnoloških omejitev. V prihodnje je pričakovati, da bo parameter mišične kakovosti pripomogel pri izbiri zdravljenja in pri spremljanju odgovorov na zdravljenje.

Literatura

1. Abe, T., Thiebaud, R. S., Loenneke, J. P., Ogawa, M. in Mitsukawa, N. (2014). Association Between Forearm Muscle Thickness and Age-related Loss of Skeletal Muscle Mass, Handgrip and Knee Extension Strength and Walking Performance in Old Men and Women: A Pilot Study. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 40(9), 2069–2075. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.05.003>
2. Akamatsu, Y., Kusakabe, T., Arai, H., Yamamoto, Y., Nakao, K., Ikeue, K., Ishihara, Y., Tagami, T., Yasoda, A., Ishii, K. in Satoh-Asahara, N. (2022). Phase angle from bioelectrical impedance analysis is a useful indicator of muscle quality. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 13(1), 180–189. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12860>
3. Barbat-Artigas, S., Rolland, Y., Vellas, B. in Aubertin-Leheudre, M. (2013). Muscle quantity is not synonymous with muscle quality. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(11), 852.e1–852.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.06.003>
4. Beaudart, C., McCloskey, E., Bruyère, O., Cesari, M., Rolland, Y., Rizzoli, R., Araujo de Carvalho, I., Amuthavalli Thiagarajan, J., Bautmans, I., Bertièrre, M. C., Brandi, M. L., Al-Daghri, N. M., Burlet, N., Cavalier, E., Cerreta, F., Cherubini, A., Fielding, R., Gielen, E., Landi, F., ... Cooper, C. (2016). Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC Geriatrics*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0349-4>
5. Borzuola, R., Giombini, A., Torre, G., Campi, S., Albo, E., Bravi, M., Borriore, P., Fossati, C. in Macaluso, A. (2020). Central and peripheral neuromuscular adaptations to ageing. *V Journal of Clinical Medicine* (Let. 9, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jcm9030741>
6. Canon, M. E. in Crimmins, E. M. (2011). Sex Differences in the Association between muscle quality, inflammatory markers, and cognitive decline. *The Journal of Nutrition, Health in Aging*, 15. <https://doi.org/10.2337/dc06-1190>
7. Correa-de-Araujo, R., Addison, O., Miljkovic, I., Goodpaster, B. H., Bergman, B. C., Clark, R. v., Elena, J. W., Esser, K. A., Ferrucci, L., Harris-Love, M. O., Kritchevsky, S. B., Lobergs, A., Shepherd, J. A., Shulman, G. I. in Rosen, C. J. (2020). Myosteatosis in the Context of Skeletal Muscle Function Deficit: An Interdisciplinary Workshop at the National Institute

on Aging. *V Frontiers in Physiology* (Let. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00963>

8. Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Bautmans, I., Baeyens, J. P., Cesari, M., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *V Age and Ageing* (Let. 48, Issue 1, str. 16–31). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
9. del Vecchio, A., Negro, F., Holobar, A., Casolo, A., Folland, J. P., Felici, F. in Farina, D. (2019). You are as fast as your motor neurons: speed of recruitment and maximal discharge of motor neurons determine the maximal rate of force development in humans. *Journal of Physiology*, 597(9), 2445–2456. <https://doi.org/10.1113/JP277396>
10. Derstine, B. A., Holcombe, S. A., Ross, B. E., Wang, N. C., Su, G. L. in Wang, S. C. (2021). Optimal body size adjustment of L3 CT skeletal muscle area for sarcopenia assessment. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79471-z>
11. Drost, G., Stegeman, D. F., van Engelen, B. G. M. in Zwarts, M. J. (2006). Clinical applications of high-density surface EMG: A systematic review. *V Journal of Electromyography and Kinesiology* (Let. 16, Issue 6, str. 586–602). <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.09.005>
12. Erlandson, M. C., Lobergs, A. L., Mathur, S. in Cheung, A. M. (2016). Muscle analysis using pQCT, DXA and MRI. *European Journal of Radiology*, 85(8), 1505–1511. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.03.001>
13. Fukuda, T., Bouchi, R., Takeuchi, T., Nakano, Y., Murakami, M., Minami, I., Izumiya, H., Hashimoto, K., Yoshimoto, T. in Ogawa, Y. (2017). Association of diabetic retinopathy with both sarcopenia and muscle quality in patients with type 2 diabetes: A cross-sectional study. *BMJ Open Diabetes Research and Care*, 5(1). <https://doi.org/10.1136/bmj-drc-2017-000404>
14. Gu, D. H., Kim, M. Y., Seo, Y. S., Kim, S. G., Lee, H. A., Kim, T. H., Jung, Y. K., Kandemir, A., Kim, J. H., An, H., Yim, H. J., Yeon, J. E., Byun, K. S. in Um, S. H. (2018). Clinical usefulness of psoas muscle thickness for the diagnosis of sarcopenia in patients with liver cirrhosis. *Clinical and Molecular Hepatology*, 24(3), 319–330. <https://doi.org/10.3350/cmh.2017.0077>
15. Hair, N. N., Cumming, R. G., Naganathan, V., Handelsman, D. J., le Couteur, D. G., Creasey, H., Waite, L. M., Seibel, M. J. in Sambrook, P. N. (2010). Loss of muscle strength, mass (sarcopenia), and quality (specific force) and its relationship with functional limitation and physical disability: The concord health and ageing in men project. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(11),

- 2055–2062. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03145.x>
16. Hari, A. (2020). *Ultrazvočna preiskava mišice psoas za oceno sarkopenije, zapletov in preživetja bolnikov z jetrno cirozo*.
 17. Ismail, C., Zabal, J., Hernandez, H. J., Woletz, P., Manning, H., Teixeira, C., DiPietro, L., Blackman, M. R. in Harris-Love, M. O. (2015). Diagnostic ultrasound estimates of muscle mass and muscle quality discriminate between women with and without sarcopenia. *Frontiers in Physiology*, 6(OCT). <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00302>
 18. Lee, C.-D. in Dierickx, E. (2018). DEFINING SARCOPENIA USING MUSCLE QUALITY INDEX. *Journal of Aging Research and Lifestyle*, 1–5. <https://doi.org/10.14283/jarcp.2018.11>
 19. Lee, S. J., Janssen, I., Heymsfield, S. B. in Ross, R. (2004). Relation between whole-body and regional measures of human skeletal muscle 1-3. *V Am J Clin Nutr* (Let. 80). <https://academic.oup.com/ajcn/article-abstract/80/5/1215/4690424>
 20. Lees, M. J., Wilson, O. J., Hind, K. in Ispoglou, T. (2019). Muscle quality as a complementary prognostic tool in conjunction with sarcopenia assessment in younger and older individuals. *European Journal of Applied Physiology*, 119(5), 1171–1181. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04107-8>
 21. Lim, J. Y. in Frontera, W. R. (2022). Single skeletal muscle fiber mechanical properties: a muscle quality biomarker of human aging. *V European Journal of Applied Physiology* (Let. 122, Issue 6, str. 1383–1395). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04924-4>
 22. Marusic, U., Verghese, J. in Mahoney, J. R. (2018). Cognitive-Based Interventions to Improve Mobility: A Systematic Review and Meta-analysis. *V Journal of the American Medical Directors Association* (Let. 19, Issue 6, str. 484–491.e3). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.02.002>
 23. McGregor, R. A., Cameron-Smith, D. in Poppitt, S. D. (2014). It is not just muscle mass: A review of muscle quality, composition and metabolism during ageing as determinants of muscle function and mobility in later life. *V Longevity and Healthspan* (Let. 3, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/2046-2395-3-9>
 24. Miljkovic, I. in Zmuda, J. M. (2010). Epidemiology of myosteatosis. *V Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* (Let. 13, Issue 3, str. 260–264). <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328337d826>
 25. Naimo, M. A., Varanoske, A. N., Hughes, J. M. in Pasiakos, S. M. (2021). Skeletal Muscle Quality: A Biomarker for Assessing Physical Performance Capabilities in Young Populations. *V Frontiers in Physiology* (Let. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.706699>
 26. Oba, H., Matsui, Y., Arai, H., Watanabe, T., Iida, H., Mizuno, T., Yamashita, S., Ishizuka, S., Suzuki, Y., Hiraiwa, H. in Imagama, S. (2021). Evaluation of muscle quality and quantity for the assessment of sarcopenia using mid-thigh computed tomography: a cohort study. *BMC Geriatrics*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02187-w>
 27. Perkisas, S., Bastijns, S., Baudry, S., Bauer, J., Beaudart, C., Beckwée, D., Cruz-Jentoft, A., Gasowski, J., Hobbelen, H., Jager-Wittenaar, H., Kasiukiewicz, A., Landi, F., Małek, M., Marco, E., Martone, A. M., de Miguel, A. M., Piotrowicz, K., Sanchez, E., Sanchez-Rodriguez, D., ... de Cock, A. M. (2021). Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: 2020 SARCUS update. *V European Geriatric Medicine*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s41999-020-00433-9>
 28. Pišot, R., Narici, M. V., Šimunič, B., de Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G., in Mekjavič, I. B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 409–414. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0698-6>
 29. Radaelli, R., Taaffe, D. R., Newton, R. U., Galvão, D. A. in Lopez, P. (2021). Exercise effects on muscle quality in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00600-3>
 30. Rutten, I. J. G., Ubachs, J., Kruitwagen, R. F. P. M., Beets-Tan, R. G. H., Olde Damink, S. W. M. in van Gorp, T. (2017). Psoas muscle area is not representative of total skeletal muscle area in the assessment of sarcopenia in ovarian cancer. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 8(4), 630–638. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12180>
 31. Seo, M. W., Jung, S. W., Kim, S. W., Jung, H. C., Kim, D. Y. in Song, J. K. (2020). Comparisons of muscle quality and muscle growth factor between sarcopenic and non-sarcopenic older women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186581>
 32. Sergi, G., de Rui, M., Stubbs, B., Veronese, N. in Manzato, E. (2017). Measurement of lean body mass using bioelectrical impedance analysis: a consideration of the pros and cons. *V Aging Clinical and Experimental Research* (Let. 29, Issue 4, str. 591–597). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40520-016-0622-6>
 33. da Silva, T. L. in Mulder, A. P. (2021). Sarcopenia and poor muscle quality associated with severe obesity in young adults and middle-aged adults. *Clinical Nutrition ESPEN*, 45, 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.07.031>
 34. Šimunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 527–530. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.04.003>
 35. Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavič, I. B. in Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1619–1625. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31821522d0>
 36. Šimunič, B., Koren, K., Rittweger, J., Lazzer, S., Reggiani, C., Rejc, E., Pišot, R., Narici, M. in Degens, H. (2019). Tensiomyography detects early hallmarks of bed-rest-induced atrophy before changes in muscle architecture. *J Appl Physiol*, 126, 815–822. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00880.2018-In>
 37. Ticinesi, A., Meschi, T., Narici, M. V., Lauretani, F. in Maggio, M. (2017). Muscle Ultrasound and Sarcopenia in Older Individuals: A Clinical Perspective. *V Journal of the American Medical Directors Association* (Let. 18, Issue 4, str. 290–300). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.11.013>
 38. Vangelov, B., Bauer, J., Kotevski, D. in Smee, R. I. (2022). The use of alternate vertebral levels to L3 in computed tomography scans for skeletal muscle mass evaluation and sarcopenia assessment in patients with cancer: A systematic review. *V British Journal of Nutrition* (Let. 127, Issue 5, str. 722–735). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001446>
 39. Zopfs, D., Theurich, S., Große Hokamp, N., Knuever, J., Gerech, L., Borggreffe, J., Schlaak, M. in Pinto dos Santos, D. (2020). Single-slice CT measurements allow for accurate assessment of sarcopenia and body composition. *European Radiology*, 30(3), 1701–1708. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06526-9>
 40. Zubac, D. in Šimunič, B. (2017). Skeletal muscle contraction time and tone decrease after 8 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1610–1619. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001626>

Asist. Katarina Puš, mag. kin.

katarina.pus@zrs-kp.si

Znanstveno-raziskovalno središče Koper,
Inštitut za kineziološke raziskave