



Petra Železnik,
Amadej Jelen, Klemen Kalc, Žiga Kozinc

Povezava med gibljivostjo in mišično togostjo na primeru zadnjih stegenjskih mišic

Izvilleček

Gibljivost je pomembna komponenta telesne pripravljenosti. Nanjo vpliva več dejavnikov, razdelimo jih lahko na centralne in periferne. Periferni mehanizmi med drugim vključujejo mišično togost, za ocenjevanje katere se čedalje bolj uveljavlja metoda ultrazvočne elastografije s strižnimi valovi. Namen naše raziskave je bil ugotoviti morebitno povezavo med mišično togostjo zadnjih stegenjskih mišic (merjeno v sproščenem položaju) ter gibljivostjo kolčnega in kolenskega sklepa pri zdravih preiskovancih ($n = 16$). Mišično togost v sproščenem položaju smo izmerili z ultrazvočno elastografijo, gibljivost pa ovrednotili s testom pasivnega dviga iztegnjene noge (angl. straight-leg raise; SLR) in aktivnim iztegom kolena (angl. active knee extension; AKE). Rezultati so pokazali, da ni bilo statistično pomembne povezanosti med obsegom gibljivosti ter mišično togostjo dvoglave stegenjske mišice (AKE: $r = 0,02$; $p = 0,932$; SLR: $r = -0,06$; $p = 0,809$) in polkitaste mišice (AKE: $r = -0,17$; $p = 0,536$; SLR: $r = -0,17$; $p = 0,536$). Testa gibljivosti sta bila sicer v visoki, pozitivni korelaciji ($r = 0,79$; $p < 0,001$). Na podlagi rezultatov sklepamo, da mišična togost v sproščenem položaju zanemarljivo vpliva na obseg giba v sklepu. Predvidevamo, da na gibljivost vplivata predvsem togost mišice, ko je ta v raztegnjenem položaju, ter togost drugih, nemišičnih tkiv okoli obravnavanega sklepa, še pomembnejši pa so verjetno centralni mehanizmi, kot je toleranca za razteg. Za potrditev domnev in boljše razumevanje mehanizmov v ozadju gibljivosti so potrebne dodatne raziskave.

Ključne besede: ultrazvočna elastografija, obseg gibljivosti, zadnje stegenjske mišice, mišična togost



Image by Racool_studio on Freepik

Association between flexibility and muscle stiffness: the case of hamstrings

Abstract

Flexibility is an essential component of physical fitness. It is affected by several factors, that can be divided into central and peripheral mechanisms. Peripheral mechanisms, among others, include muscle stiffness. Recently, ultrasound shear wave elastography has been established as a reliable method to assess muscle stiffness. In our study, we aimed to discern any potential correlation between the stiffness of hamstrings (assessed in relaxed position) and the range of motion in the hip and knee among healthy participants ($n = 16$). We employed ultrasound elastography to determine muscle stiffness and used the passive straight leg raise test (SLR) and active knee extension test (AKE) to assess flexibility. The results showed that there was no statistically significant correlation between the range of motion and biceps femoris stiffness (AKE: $r = 0.02$; $p = 0.932$; SLR: $r = -0.06$; $p = 0.809$) nor between the range of motion and semitendinosus muscle stiffness (AKE: $r = -0.17$; $p = 0.536$; SLR: $r = -0.17$; $p = 0.536$). The flexibility tests were in high positive correlation ($r = 0.79$; $p < 0.001$). Based on the results, we conclude that muscle stiffness assessed in relaxed position has a negligible effect on range of motion. We assume that flexibility is influenced by the stiffness of the muscles when stretched, the stiffness of surrounding non-muscular tissues and more importantly, by central mechanisms such as tolerance to stretch. Additional research is needed to confirm our assumptions and to explain the mechanisms underlying flexibility.

Keywords: ultrasound elastography, range of motion, hamstrings, muscle stiffness

■ Uvod

Z zdravjem povezana telesna pripravljenost poleg srčno-dihalne funkcije, telesne sestave, mišične jakosti in vzdržljivosti vključuje tudi gibljivost (Caspersen, Powell in Christenson, 1985). Ta je definirana kot sposobnost izvedbe giba v celotnem možnem obsegu brez omejitev in bolečin (ACSM, 2022), na kar pomembno vplivajo mišice, sklepi in okoliška tkiva, kot so ligamenti, fascije, žile in živci (Kisner, Colby in Borstad, 2018). Prožnost tkiv se spreminja s starostjo, med drugim je odvisna tudi od spola, genetskih predispozicij in telesne temperature (Díaz-Soler, Vaquero-Cristóbal, Espejo-Antúnez in López-Miñarro, 2015).

Pogosto je gibljivost najbolj zapostavljena komponenta telesne pripravljenosti, kljub temu da ustrezna prožnost mišic izboljša kakovost življenja (ACSM, 2022). Ustrezna gibljivost omogoča izvedbo vsakodnevnih opravil in pripomore k boljši športni zmogljivosti (Yu idr., 2022; Díaz-Soler idr., 2015). Ohranjanje optimalne mišične raztegljivosti je še posebej pomembno pri mišičnih skupinah, nagnjenih k skrajšavam, med katere sodijo tudi zadnje stegenske mišice (Díaz-Soler idr., 2015). Nezadostna gibljivost teh mišic je dejavnik tveganja za nastanek različnih akutnih in kroničnih poškodb, kot so nateg zadnjih stegenskih mišic, ki je ena izmed najpogostejših športnih poškodb, patelarna tendinopatija in patelofemoralna bolečina (Kawai, Takamoto in Bito, 2021; Medeiros, Cini, Sbruzzi in Lima, 2016). Zaradi vpliva na mehaniko gibanja ledveno-medeničnega predela so skrajšane zadnje stegenske mišice povezane tudi z bolečino v ledvenem delu (Díaz-Soler idr., 2015; Medeiros idr., 2016).

Avtorji poročajo o povečanem obsegu giba (OG) in zmanjšani mišično-tetivni togosti po raztezanju, hkrati pa tudi o negativnih akutnih učinkih dolgotrajnega statičnega raztezanja (≥ 60 s) na maksimalno mišično zmogljivost (Behm, Blazevich, Kay in McHugh, 2016; Kay in Blazevich, 2012). Predvideva se, da je povečanje OG posledica enega ali kombinacije obeh možnih mehanizmov – perifernega ali centralnega značaja (Behm idr., 2016). Periferni mehanizmi vključujejo zmanjšanje mišične in kitne togosti, kar lahko negativno vpliva na mehansko stabilnost sklepa. Centralni mehanizmi povečanja OG po raztezanju pa se nanašajo na spremembe na ravni živčnega sistema, pri čemer aferentni prilivi iz mišic in sklepov zavrejo nociceptivne signale, kar

skupaj s sproščanjem enkefalinov z analgetičnim učinkom iz interneuronov v hrbtenjači zviša bolečinski prag in s tem poveča toleranco za razteg (Ham, Kim, Choi, Lee Y. in Lee H., 2020; Miyamoto, Hirata, Miyamoto-Mikami, Yasuda in Kanehisa, 2018; Yu idr., 2022).

Objektivno vrednotenje gibljivosti je osnova za načrtovanje in vrednotenje vadbenega ali rehabilitacijskega programa, pri čemer lahko merimo aktivni ali pasivni obseg giba (Kisner idr., 2018; Miyamoto idr., 2018). Oceno pasivne gibljivosti definirata raztegljivost mehkih tkiv in oblika sklepnih površin, navadno je večja od aktivne in predstavlja predpogoj za aktivno gibljivost, za katero pa je potrebna sposobnost zavestne mišične kontrakcije (Kisner idr., 2018). Izmerjen OG zajema celostno oceno gibljivosti obravnavanega sklepa, vključujoč togost mišic, vezi, sklepne ovojnice in tolerance za razteg, ne omogoča pa izolirane ocene posameznega tkiva. Zato se vse bolj uveljavlja metoda ultrazvočne elastografije s strižnimi valovi, ki omogoča objektivno vrednotenje togosti posameznega tkiva (Roots, Trajano in Fontanarosa, 2022). Gre za diagnostično metodo, pri kateri je dinamičen ultrazvočni impulz doveden pravokotno na opazovano strukturo in v njej generira strižne valove. Ti se po strukturi širijo pravokotno na ultrazvočni žarek oziroma vzporedno po opazovani strukturi. Hitrost širjenja strižnih valov določa togost tkiva – o njej se lahko poroča kot o dejanski hitrosti širjenja (m/s) ali pa se z uporabo Youngovega modulusa pretvori v kPa in poroča kot strižni modul (Djurić, Pleša, Kozinc in Šarabon, 2022; Sigrist, Liao, Kafas, Chammas in Willmann, 2017). Čeprav je elastografija v zadnjih letih v znanstveni literaturi namenjena precej pozornosti, ni povsem jasno, kakšna je povezava med gibljivostjo oziroma OG in togostjo mišic.

V naši raziskavi zato želimo ugotoviti morebitno povezavo med izoliranim merjenjem mišične togosti zadnjih stegenskih mišic (v sproščenem položaju) z ultrazvočno elastografijo s strižnimi valovi in gibljivostjo, izraženo kot obseg giba v sklepu. Glede na številne druge dejavnike, ki prispevajo k gibljivosti sklepa, predvidevamo, da bo mišična togost v sproščenem položaju v majhni ali zanemarljivi korelaciji z obsegom giba. Ker pa bi tudi izhodiščna togost (torej togost, merjena v sproščenem položaju) lahko vplivala na togost v nadaljnjem obsegu giba, je smiselno preveriti, ali določena povezava vendarle obstaja. Rezultati

raziskave bodo pripomogli k razumevanju osnovnih mehanizmov gibljivosti ter pojasnjevanju pomena perifernih in centralnih sprememb.

■ Metode

Preizkušanci

Izvedli smo raziskavo med mladimi, zdravimi prostovoljci z merjenjem obsega gibljivosti kolka in kolena ter merjenjem mišične togosti zadnjih stegenskih mišic (dvozlave stegenske mišice in polkitaste mišice) dominantnega spodnjega uda. V raziskavi je sodelovalo 16 mladih in rekreativno telesno dejavnih prostovoljcev (9 žensk; starost: $24 \pm 1,22$ leta; telesna višina: $168,7 \pm 6,3$ cm; telesna masa: $61,8 \pm 7,4$ kg; in 7 moških; starost: $24,3 \pm 1,38$ leta; telesna višina: $181,4 \pm 7,73$ cm; telesna masa: $81,8 \pm 16,3$ kg). Vključeni so bili preiskovanci brez predhodnih ali trenutnih poškodb zadnjih stegenskih mišic, kakršnih koli trenutnih poškodb spodnjih udov ali trupa, miopatij, živčno-mišičnih in nevroloških motenj. Vnaprej so bili seznanjeni s potekom in namenom raziskave, kar so pisno potrdili. Naprošeni so bili, da vsaj dva dni pred meritvami ne izvajajo intenzivne vadbe proti upor. Uporabljene preiskovalne metode in intervencije so neinvazivne in neškodljive ter v skladu s Helsinško deklaracijo in odobritvijo Komisije Republike Slovenije za medicinsko etiko (št.: 0120-321/2017-4).

Potek eksperimenta

Pred izvedbo meritev smo pridobili osnovne demografske podatke in določili dominantnost noge z vprašanjem: »Če bi želeli brnciti žogo v gol, s katero nogo bi to storili?«, ki je zanesljivo pri določanju dominantnosti spodnjega uda v bilateralnih gibanjih (van Melick, Meddeler, Hoogeboom, Nijhuis-van der Sanden in van Cingel, 2017). Pri vseh preiskovancih smo ugotovili dominantnost desnega spodnjega uda. Pred meritvami so preiskovanci 5 min mirno ležali na terapevtski mizi z namenom izničenja vplivov predhodnih aktivnosti. V tem času smo določili natančno lokacijo merjenja togosti – na polovici med sednično grčo in lateralnim kondilom golenice za dvozlavo stegensko mišico ter na polovici med sednično grčo in medialnim kondilom golenice za polkitasto mišico, upoštevajoč priporočila SENIAM za meritve EMG (Hermens et al. 2000) most methodological developments have taken place locally, resulting in different methodologies among

the different groups of users. A specific objective of the European concerted action SENIAM (surface EMG for a non-invasive assessment of muscles). Togost smo izmerili z uporabo diagnostičnega ultrazvočnega sistema (Resona 7, Midray, Shenzhen, Kitajska) z metodo elastografije s strižnimi valovi. Preiskovanci so sproščeno ležali na terapevtski mizi, obrnjeni s trebuhom navzdol. Kota v kolnih in kolkih sta bila tako $\sim 0^\circ$. Sistem je bil nastavljen na mišično-skeletni način, ob predpostavki gostote mišičnega tkiva 1000 kg/m^3 . Uporabljena je bila srednje velika linearna sonda (model L11-3U, Midray, Shenzhen, Kitajska) z vodotopnim hipoalergenim ultrazvočnim gelom (AquaUltra Basic – Ultragel, Budimpešta, Madžarska). Velikost območja zanimanja je bila $1 \times 1 \text{ cm}$, globina merjenja pa je bila določena individualno. Mišično togost smo izrazili kot strižni modul (enota: kPa). Končna vrednost meritve je povprečje dveh serij, ki sta vsebovali zaporednih osmih meritev, kar je maksimalna zmogljivost shranjevanja naprave. Slika 1 prikazuje primer ultrazvočne meritve.

Meritve gibljivosti so obsegale dva testa – pasivni dvig iztegnjene noge (angl. »Straight Leg Raise« – v nadaljevanju SLR) in aktivni izteg kolena (angl. »Active Knee Extension« – v nadaljevanju AKE). Oba testa sta bila izvedena v položaju leže na hrbtu, z uporabo inklinometra, pritrjenega tik nad gležnji. Preiskovanci so pred izvedbo SLR prejeli navodila, naj bodo med izvedbo testa čim bolj sproščeni in naj ne dvigujejo noge sami. Preiskovalec je dvignil preiskovančev iztegnjeni spodnji ud do prvega občutka blagega nelagodja ob raztegu, v



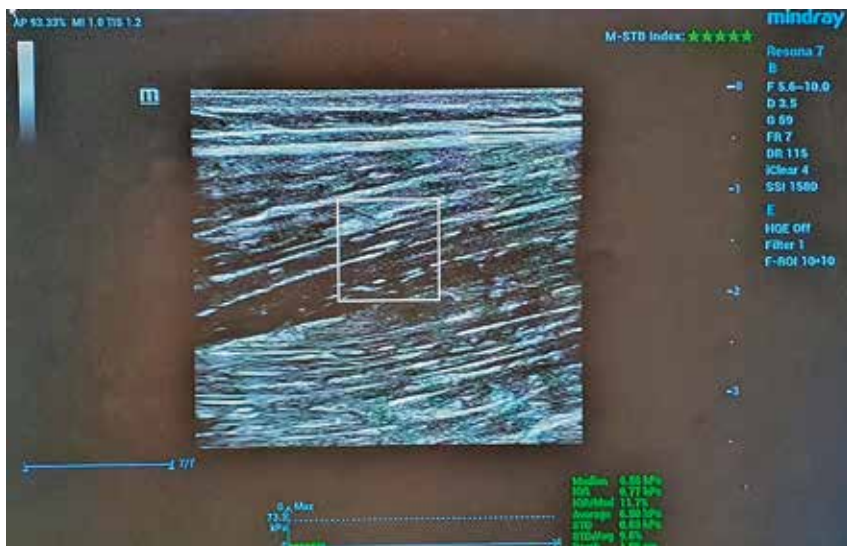
Slika 2. Test gibljivosti – SLR

tem položaju je bila odčitana vrednost z inklinometra. Izvedbo testa SLR prikazuje Slika 2. Med testom AKE je izhodiščni položaj predstavljalo 90° upogiba v kolku in kolenu, preiskovancem je bilo naročeno, naj

maksimalno iztegnejo koleno v zrak, tam je bila odčitana vrednost. Oba testa gibljivosti sta bila ponovljena dvakrat, netestiran spodnji ud pa je v obeh primerih iztegnjen počival na podlagi. Meritve so bile izvedene v klimatiziranem prostoru s temperaturo med 22 in 23°C .

Metode obdelave podatkov

Statistična analiza je bila opravljena v programu SPSS (IMB, Armonk, NY, ZDA). Podatki opisne statistike so predstavljani kot povprečje in standardni odklon. Normalnost podatkov je bila preverjena s Shapiro-Wilkovim testom in vizualno ocenjeno s histogramov. Povezava med obsegom giba in togostjo je bila ovrednotena s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r), pri čemer smo moč povezanosti definirali kot zelo šibko ($r < 0,1$), šibko ($r = 0,1-0,4$), zmerno ($r = 0,4-0,7$), močno ($r = 0,7-0,9$) in zelo močno ($r = 0,9$). Statistično značilne razlike in povezave smo potrdili pri stopnji zaupanja $\alpha < 0,05$.

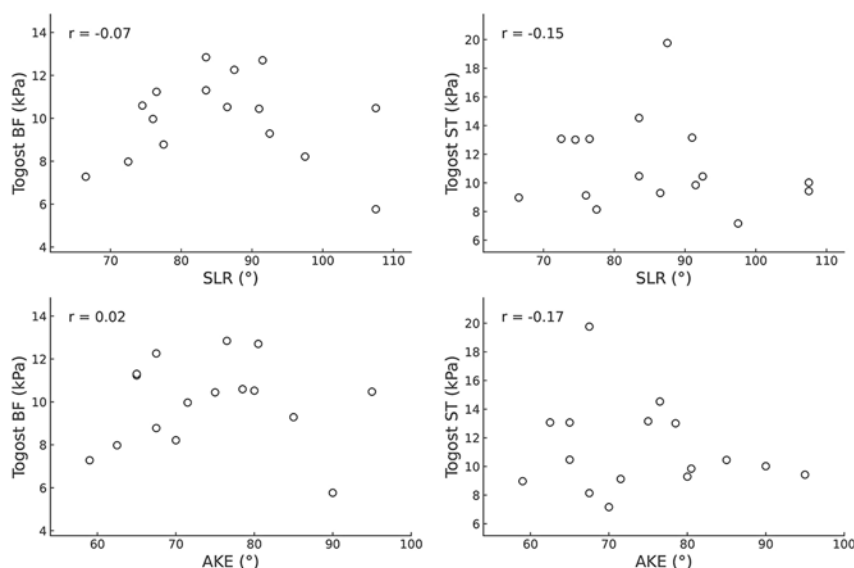


Slika 1. Meritev mišične togosti z ultrazvočno elastografijo

Rezultati

V Tabeli 1 je zbrana opisna statistika odvisnih spremenljivk.

Statistična analiza je pokazala, da med mišično togostjo in obsegom gibljivosti ni statistično pomembne povezanosti. Rezultati testa SLR niso bili v korelaciji ne s togostjo dvoglave stegenske mišice ($r = -0,06$; $p = 0,809$) ne s togostjo polkitaste mišice ($r = -0,14$; $p = 0,591$). Prav tako ni bilo statistično značilnih korelacij niti med testom AKE in togostjo dvoglave stegenske mišice ($r = 0,02$; $p = 0,932$) niti togostjo polkitaste mišice ($r = -0,17$; $p = 0,536$). Rezultati so prikazani na Sliki 3. Testa gibljivosti sta bila med seboj v visoki pozitivni in statistično značilni korelaciji ($r = 0,79$; $p < 0,001$). Vrednosti togosti ene in druge mišice so bile v pozitivni, a zmerni in statistično neznačilni korelaciji ($r = 0,49$; $p = 0,054$).



Slika 3. Prikaz korelacijskih analiz

Opomba. BF = m. biceps femoris; ST = m. semitendinosus; SLR = straight leg raise (dvig iztegnjene noge); AKE = active knee extension (aktivni izteg kolena).

Razprava

Z raziskavo smo želeli ugotoviti morebitno povezavo med gibljivostjo in togostjo na primeru zadnjih stegenskih mišic v sproščenem položaju. Rezultati so pokazali, da statistično pomembne povezanosti med obsegom gibljivosti (tako AKE kot SLR) ter izolirano mišično togostjo (v sproščenem položaju) dvoglave stegenske mišice in polkitaste mišice ni, na podlagi česar lahko potrdimo našo domnevo, da je mišična togost v sproščenem položaju v majhni oziroma zanemarljivi korelaciji z OG. Testa

Tabela 1
Opisna statistika

Spremenljivka	Povprečje	SO	Minimum	Maksimum
Dvig iztegnjene noge (SLR)	85,7	11,9	66	107
Aktivni izteg kolena (AKE)	74,2	10,1	59	95
Togost BF (kPa)	9,9	1,9	5,7	12,8
Togost ST (kPa)	11,2	3,1	7,1	19,7

Opomba. SO = standardni odklon; BF = m. biceps femoris; ST = semitendinosus.

gibljivosti sta bila sicer v visoki, pozitivni in statistično značilni korelaciji.

Večina že opravljenih raziskav, skladno z našimi ugotovitvami, poroča o odsotnosti povezave med OG in mišično togostjo (Brandenburg idr., 2015; Hirata, Yamadera in Akagi, 2020; Konrad in Tilp, 2014; Miyamoto idr., 2018; Nakamura idr., 2021; Salsich, Brown in Mueller, 2000). Raziskave se med seboj precej razlikujejo, tako po proučeva-

uporabile metodo ultrazvočne elastografije, proučevali pa so mečne mišice. Zaradi razlik v mišični arhitekturi, kot sta delež mišičnih vlaken tipa I in II ter vsebnost kolagena, rezultati niso popolnoma primerljivi z našo raziskavo.

Raziskava, opravljena na zadnjih stegenskih mišicah, je pokazala negativno povezanost gibljivosti z mišično togostjo (Magnusson idr., 1997), česar naši rezultati niso potrdili. Za vrednotenje gibljivosti so uporabili test predklona stoje, mišično togost pa so vrednotili z vidika odnosa med pasivnim navorom in kotom, pri čemer pasivni navor ni najbolj veljavna metoda za vrednotenje mišične togosti, saj ne poda informacij le o togosti mišic, temveč zajema upor vseh okoliških tkiv (Ichihashi idr., 2016). Na OG pomembno vplivajo tako centralni (toleranca na razteg) kot periferni mehanizmi (mišična togost) (Behm idr., 2016; Ham idr., 2020; Miyamoto idr., 2018; Yu idr., 2022). K mišični togosti prispevajo prečni mostički, ki jih sestavljata aktin in miozin, citoskelet in znotrajmišično vezivno tkivo, kot so epimizij, perimizij in endomizij (Gajdosik, 2001). Poleg mišičnega tkiva periferni dejavniki zajemajo tudi vsa okoliška vezivna tkiva, kot so fasije in živci, ki pa so bolj toga od mišičnega (Hirata, Miyamoto-Mikami, Kanehisa in Miyamoto, 2016), kar dodatno pojasni odsotnost korelacije med mišično togostjo in OG. V potrditev teorije o pomembnem vplivu nemišičnih tkiv priča tudi raziskava avtorja Andrade idr. (2018), v kateri so pokazali, da raztezanje ishiadičnega živca povzroči povečanje OG brez sprememb v mišični togosti.

Drugi izmed dejavnikov, s katerimi lahko razložimo odsotnost povezave med mišično togostjo v sproščenem položaju in OG, so centralni mehanizmi. Veliko raziskav namreč poroča o povečanju OG po raztezanju zaradi povečanja tolerance za razteg (Konrad in Tilp, 2014; Yu idr., 2022; Miyamoto idr., 2018). Predvideva se, da aferentni signali iz mišic med raztezanjem zavrejo nociceptivne signale, kar zviša bolečinski

prag, hkrati pa se iz interneuronov sproščajo enkefalini, ki delujejo analgetično (Yu idr., 2022). To povzroči višjo toleranco za razteg, kar omogoča večji OG ob enakih mehaniških lastnostih mišice. Teorijo centralnih mehanizmov podpira tudi ugotovitev avtorja Heimburga (2022), da raztezanje živca zmanjša živčno vzdružnost in s tem refleksno inhibicijo. Za popolno razumevanje prispevka perifernih in centralnih mehanizmov h gibljivosti so potrebne nadaljnje raziskave.

Naša raziskava ima nekaj omejitev, med njimi je majhen vzorec mladih preiskovancev, kar onemogoča splošitev rezultatov na druge populacije. Prav tako smo togost merili le na enem delu mišice in le v njenem sproščenem položaju. Togost raztegnjene mišice, merjene pri skrajnem obsegu giba, bi morda pokazala povezanost z OG. Veliko predhodno izvedenih raziskav je za vrednotenje mišične togosti uporabilo manj veljavne metode, ki ne omogočajo izoliranega vrednotenja mišične togosti. V večini dosedanjih študij so se osredotočili na mečne mišice oziroma gibljivost gležnja v bočni ravnini. V prihodnosti bi bilo zato smiselno izmeriti mišično togost z ultrazvočno elastografijo s strižnimi valovi na večjem in starostno bolj pestrem vzorcu, na več mestih mišice, pri različnih kotih v sklepu in različnih mišičnih skupinah, kar bi omogočilo splošitev rezultatov na širšo raven.

Zaključek

Na obseg giba kot merilo gibljivosti vpliva veliko dejavnikov. Naša raziskava je pokazala, da je mišična togost le zanemarljiv del teh, saj povezanosti med mišično togostjo v sproščenem položaju in obsegom gibljivosti nismo zaznali. Domnevamo, da h gibljivosti pomembneje pripomorejo centralni mehanizmi, kot je toleranca za razteg, in togost drugih okoliških tkiv, kot so fascije in živci. Ker je raziskava vključevala merjenje togosti zadnjih stegenskih mišic ter gibljivost kolka in kolena, rezultatov ne moremo splošiti na druge mišične skupine. Za boljše razumevanje mehanizmov v ozadju gibljivosti in potrditev domnev so zato potrebne dodatne raziskave, ki bodo vključevale tudi meritve togosti drugih tkiv in omogočale hkratno spremljanje centralnih sprememb ter akutnih in kroničnih sprememb togosti mišice in obsega giba kot posledico raztezanja. Zaključimo lahko, da uporaba elastografije (vsaj za merjenje

mišične togosti v sproščenem položaju) v športni praksi najverjetneje ni smiselna v kontekstu ocenjevanja gibljivosti, lahko pa je uporabno orodje v raziskavah, katerih cilj je razumeti dejavnike gibljivosti in mehanizme v ozadju sprememb OG.

Literatura

1. American College of Sports Medicine (ACSM). (2022). *Acsm's guidelines for exercise testing and prescription* (1th ed.). Wolters Kluwer.
2. Andrade, R. J., Freitas, S. R., Hug, F., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Gross, R., ... Nordez, A. (2018). The potential role of sciatic nerve stiffness in the limitation of maximal ankle range of motion. *Scientific reports*, 8(1), 14532. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32873-6>
3. Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D. in McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 41(1), 1–11. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235>
4. Brandenburg, J. E., Eby, S. F., Song, P., Zhao, H., Landry, B. W., Kingsley-Berg, S., ... An, K. N. (2015). Feasibility and reliability of quantifying passive muscle stiffness in young children by using shear wave ultrasound elastography. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*, 34(4), 663–670. <https://doi.org/10.7863/ultra.34.4.663>
5. Caspersen, C. J., Powell, K. E. in Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports (Washington, D.C. : 1974)*, 100(2), 126–131.
6. Díaz-Soler, M. A., Vaquero-Cristóbal, R., Espejo-Antúnez, L. in López-Miñarro, P. Á. (2015). EFECTO DE UN PROTOCOLO DE CALENTAMIENTO EN LA DISTANCIA ALCANZADA EN EL TEST SIT-AND-REACH EN ALUMNOS ADOLESCENTES [The effect of a warm-up protocol on the sit-and-reach test score in adolescent students]. *Nutrición hospitalaria*, 31(6), 2618–2623. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.6.8858>
7. Djurić, D., Pleša, J., Kozinc, Ž. in Šarabon, N. (2022). Uporaba ultrazvočne elastografije za ocenjevanje mišične togosti pri športnikih: ponovljivost, medmišične in znotrajmišične razlike. *Šport*, 70(1/2), 188–194.
8. Gajdosik R. L. (2001). Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 16(2), 87–101. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(00\)00061-9](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(00)00061-9)

9. Ham, S., Kim, S., Choi, H., Lee, Y. in Lee, H. (2020). Greater Muscle Stiffness during Contraction at Menstruation as Measured by Shear-Wave Elastography. *The Tohoku journal of experimental medicine*, 250(4), 207–213. <https://doi.org/10.1620/tjem.250.207>
10. Heimbürg T. (2022). The effect of stretching on nerve excitability. *Human movement science*, 86, 103000. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2022.103000>
11. Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C. in Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 10:361–374. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
12. Hirata, K., Miyamoto-Mikami, E., Kanehisa, H. in Miyamoto, N. (2016). Muscle-specific acute changes in passive stiffness of human triceps surae after stretching. *European journal of applied physiology*, 116(5), 911–918. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3349-3>
13. Hirata, K., Yamadera, R. in Akagi, R. (2020). Associations between Range of Motion and Tissue Stiffness in Young and Older People. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(10), 2179–2188. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002360>
14. Ichihashi, N., Umegaki, H., Ikezoe, T., Nakamura, M., Nishishita, S., Fujita, K., ... Ibuki, S. (2016). The effects of a 4-week static stretching programme on the individual muscles comprising the hamstrings. *Journal of sports sciences*, 34(23), 2155–2159. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1172725>
15. Kawai, T., Takamoto, K. in Bito, I. (2021). Previous hamstring muscle strain injury alters passive tissue stiffness and vibration sense. *Journal of bodywork and movement therapies*, 27, 573–578. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.05.002>
16. Kay, A. D. in Blazevich, A. J. (2012). Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(1), 154–164. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318225cb27>
17. Kisner, C., Colby, L. A. in Borstad, J. (2018). *Therapeutic exercise: foundations and techniques* (7th ed.). McGraw-Hill Education LLC.
18. Konrad, A. in Tilp, M. (2014). Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 29(6), 636–642. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.04.013>
19. Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P., Boesen, J., Johannsen, F. in Kjaer, M. (1997). Determinants of musculoskeletal flexibility: viscoelastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 7(4), 195–

202. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00139.x>
20. Medeiros, D. M., Cini, A., Sbruzzi, G. in Lima, C. S. (2016). Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy theory and practice*, 32(6), 438–445. <https://doi.org/10.1080/09593985.2016.1204401>
21. Miyamoto, N., Hirata, K., Miyamoto-Mikami, E., Yasuda, O. in Kanehisa, H. (2018). Associations of passive muscle stiffness, muscle stretch tolerance, and muscle slack angle with range of motion: individual and sex differences. *Scientific reports*, 8(1), 8274. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26574-3>
22. Nakamura, M., Sato, S., Kiyono, R., Yahata, K., Yoshida, R., Fukaya, T., ... Konrad, A. (2021). Association between the Range of Motion and Passive Property of the Gastrocnemius Muscle-Tendon Unit in Older Population. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 9(3), 314. <https://doi.org/10.3390/healthcare9030314>
23. Roots, J., Trajano, G. S. in Fontanarosa, D. (2022). Ultrasound elastography in the assessment of post-stroke muscle stiffness: a systematic review. *Insights into imaging*, 13(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01191-x>
24. Salsich, G. B., Brown, M. in Mueller, M. J. (2000). Relationships between plantar flexor muscle stiffness, strength, and range of motion in subjects with diabetes-peripheral neuropathy compared to age-matched controls. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 30(8), 473–483. <https://doi.org/10.2519/jospt.2000.30.8.473>
25. Sigrist, R. M. S., Liao, J., Kaffas, A. E., Chamas, M. C. in Willmann, J. K. (2017). Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications. *Theranostics*, 7(5), 1303–1329. <https://doi.org/10.7150/thno.18650>
26. van Melick, N., Meddeler, B. M., Hoogeboom, T. J., Nijhuis-van der Sanden, M. W. G. in van Cingel, R. E. H. (2017). How to determine leg dominance: The agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS one*, 12(12), e0189876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189876>
27. Yu, S., Lin, L., Liang, H., Lin, M., Deng, W., Zhan, X., ... Liu, C. (2022). Gender difference in effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on flexibility and stiffness of hamstring muscle. *Frontiers in physiology*, 13, 918176. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.918176>

Petra Železnik

Univerza na Primorskem
Fakulteta za vede o zdravju
Polje 42, 6310 Izola
97210503@student.upr.si