

Antun Jurinić\*  
Jasna Mesarić\*\*  
Ana Stavljenić Rukavina\*\*\*

## DISTRIBUCIJA JAKOSTI SKELETNIH MIŠIĆA I NEUROMIŠIĆNI FENOMENI

### Sažetak

U fizioterapiji jakost mišića predstavlja važnu mjernu karakteristiku jer doprinosi objektivizaciji procjene i mjerenju učinka. Mišićna jakost najčešće se mjeri ručnim dinamometrima. Dinamometrija predstavlja valjanu i pouzdanu metodu u kliničkoj fizioterapiji. Literaturni podaci upućuju na neuromišićne fenomene koji su odgovorni za jakost mišića i njihovu međusobnu povezanost. U ovom radu prikazana je distribucija mišićnih sila skeletnih mišića i njihova povezanost. Također se razmatraju neuromišićni fenomeni koji uzrokuju takvu distribuciju. Ispitivanje mišićnih sila provedeno je u okviru internog znanstvenog projekta „Ispitivanje povezanosti zdravstvenih navika, tjelesne aktivnosti i mišićne jakosti” Libertas međunarodnog sveučilišta.

Ključne riječi: distribucija mišićne jakosti, ručni dinamometar, skeletni mišići, neuromišićni fenomeni

### 1. Uvod

Mišićna je jakost sposobnost mišića proizvesti silu kroz voljnu kontrakciju (Mukund i Subramaniam, 2020). Mišićna vlakna unutar mišića organizirana su u motorne jedinice. Motorna jedinica uključuje jedan motorni neuron i sve miofibrile koje su inervirane tim neuronom. Veličina jedinice može biti sastavljena od samo nekoliko mišićnih vlakana ukoliko se radi o mišiću koji omogućuje finu motoriku i ne razvija veliku mišićnu silu do masivnih jedinica sastavljenih od mnoštva miofibrila u mišićima zaduženim za grubu motoriku i razvoj jačih mišićnih sila. Na primjer, trbušasti mišić

\* Antun Jurinić, mag. physioth., Zavod za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju Kliničke bolnice „Sveti Duh”, Zagreb, [ajurinic@kbsd.hr](mailto:ajurinic@kbsd.hr)

\*\* prof. dr. sc. Jasna Mesarić, dr. med., Libertas međunarodno sveučilište, [jmesaric@libertas.hr](mailto:jmesaric@libertas.hr)

\*\*\* prof. emer. Ana Stavljenić Rukavina, Libertas međunarodno sveučilište, [astavljenic@libertas.hr](mailto:astavljenic@libertas.hr)

lista (m. gastrocnemius) ima motorne jedinice sastavljene od 1000 do 2000 motornih mišićnih vlakana po jednom motornom neuronu (Purves i sur., 2001).

Mišićna jakost skeletnih mišića u fizioterapiji u pravilu se ispituje ručnim dinamometrom koji pokazuje zadovoljavajuće metrijske karakteristike (Morin i sur., 2021; Stark i sur., 2011). Mišićna jakost prema Morinu i suradnicima dobar je prediktor funkcionalne sposobnosti u općoj, odrasloj populaciji, gdje se mogu povezati defici ti jakosti s tjelesnim ograničenjima. Zbog toga je dinamometrijski izmjerena mišićna jakost jedna od ključnih sastavnica objektivne procjene fizioterapeuta.

Mišićna jakost bitna je karakteristika koja prema Međunarodnoj klasifikaciji funkcioniranja, onesposobljenosti i zdravlja (World Health Organization, 2001; Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2010) označava jednu od funkcija mišića koju često ispituujemo u procesu procjene i mjerenja učinka u fizioterapiji jer doprinosi objektivizaciji napretka u procesu fizioterapije te se koristi i za mjerenje učinkovitosti fizioterapije (Morin i sur., 2021).

McLeod i suradnici (2016) upozoravaju na važnost održavanja mišićne jakosti u procesu zdravog starenja. Jakost mišića je karakteristika koja se mijenja brže nego poprečni presjek ili volumen mišića te je značajan faktor u procjeni rizika od smrti (Chen i sur., 2013; Newman i sur., 2006). Newman i suradnici utvrđuju kako je za procjenu rizika od smrti podjednako značajna jakost stiska šake kao i jakost ekstenzora potkoljenice.

Mnogi autori upućuju na prisutnost neuromišićnih fenomena koji su u konačnici odgovorni za mišićnu jakost i međuovisnost te jakost u različitim mišićnim skupinama (Sherrington, 1906; Hendy i Lamon, 2017; Bassóe i Syre, 2016; Shumway-Cook i Woollacott, 2012).

Rad je izrađen u okviru internog znanstveno-istraživačkog projekta Libertas međunarodnog sveučilišta „Istraživanje povezanosti zdravstvenih navika, tjelesne aktivnosti i mišićne jakosti”. Cilj je rada prikazati distribuciju jakosti skeletnih mišića kod zdravih osoba i navesti neuromišićne mehanizme koji objašnjavaju takvu distribuciju.

## 2. Metode

Ispitanike su činili studenti preddiplomskog sveučilišnog studija Fizioterapija u dobi od 20 do 25 godina. Upitnikom su prikupljeni demografski podaci uključujući dob, spol, visinu i tjelesnu masu te je istim upitnikom prikupljen i podatak o dominantnoj strani tijela. Svi ispitanici potpisali su informirani pristanak za sudjelovanje u istraživanju.

Kod svih ispitanika provedena su dinamometrijska mjerenja 25 skupina skeletnih mišića. Za ispitivanje jakosti skeletnih mišića korišten je ručni, mehanički dina-

mometar, prikazan na Slici 1. Za ispitivanje jakosti stiska šake korišten je odgovarajući dinamometar prikazan na Slici 2.

**Slika 1.** Mehanički ručni dinamometar za mjerenje jakosti skeletnih mišića



Izvor: Performance Health (2022).

**Slika 2.** Digitalni dinamometar za mjerenje jakosti stiska šake



Izvor: Filipec, Lončarić Kelečić i Jurinić (2020).

Mjerenja su provedena u dva navrata s pauzom od 30 sekundi. Izmjerena je jakost maksimalne izometričke mišićne kontrakcije. Dinamometriju je izveo jedan ispitiivač po protokolima iz priručnika Dinamometrija (Filipec i sur., 2020). Primjer jednog protokola prikazan je na Slici 3.

**Slika 3.** Primjer protokola za dinamometrijsko mjerenje jakosti vanjskih rotatora ramena



Položaj ispitanika	Položaj ispitivača	Otpor
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ležeći u supiniranom položaju</li> <li>– rame u abdukciji 90°</li> <li>– fleksija lakta 90°</li> <li>– podlaktica u pronaciji</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– stojeći, kranijalno od ispitanika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– dinamometar se postavlja na distalni dio podlaktice kod ručnog zgloba</li> <li>– otpor se pruža dinamometrom na pokušaj pokreta vanjske rotacije ramena</li> </ul>

Izvor: Filipec, Lončarić Kelečić i Jurinić (2020).

Statistička analiza uključila je: primjenu Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testa za ispitivanje normalnosti distribucije rezultata, Spearmanov test korelacije za test – retest metodu provjere pouzdanosti mjernog uređaja te Spearmanov test korelacije za ispitivanje povezanosti izmjerenih vrijednosti jakosti između svih ispitanih mišića.

### 3. Rezultati

Testiranje je provedeno na skupini od ukupno 101 ispitanika, 57 žena i 44 muškaraca. Prosječna dob ispitanika iznosila je 21 godinu (min. 20, max. 25). Ispitanici su bili prosječno visoki 175,7 cm (min. 157, max. 202) i prosječno teški 73 kg (min. 50, max. 115). Indeks tjelesne mase bio je prosječno 23,49 (min. 17,67, max. 36,48).

88,1 % ispitanika se izjasnilo da su dešnjaci, ali to značajno ne korelira s mišićnom jakošću,  $p < 0,05$ .

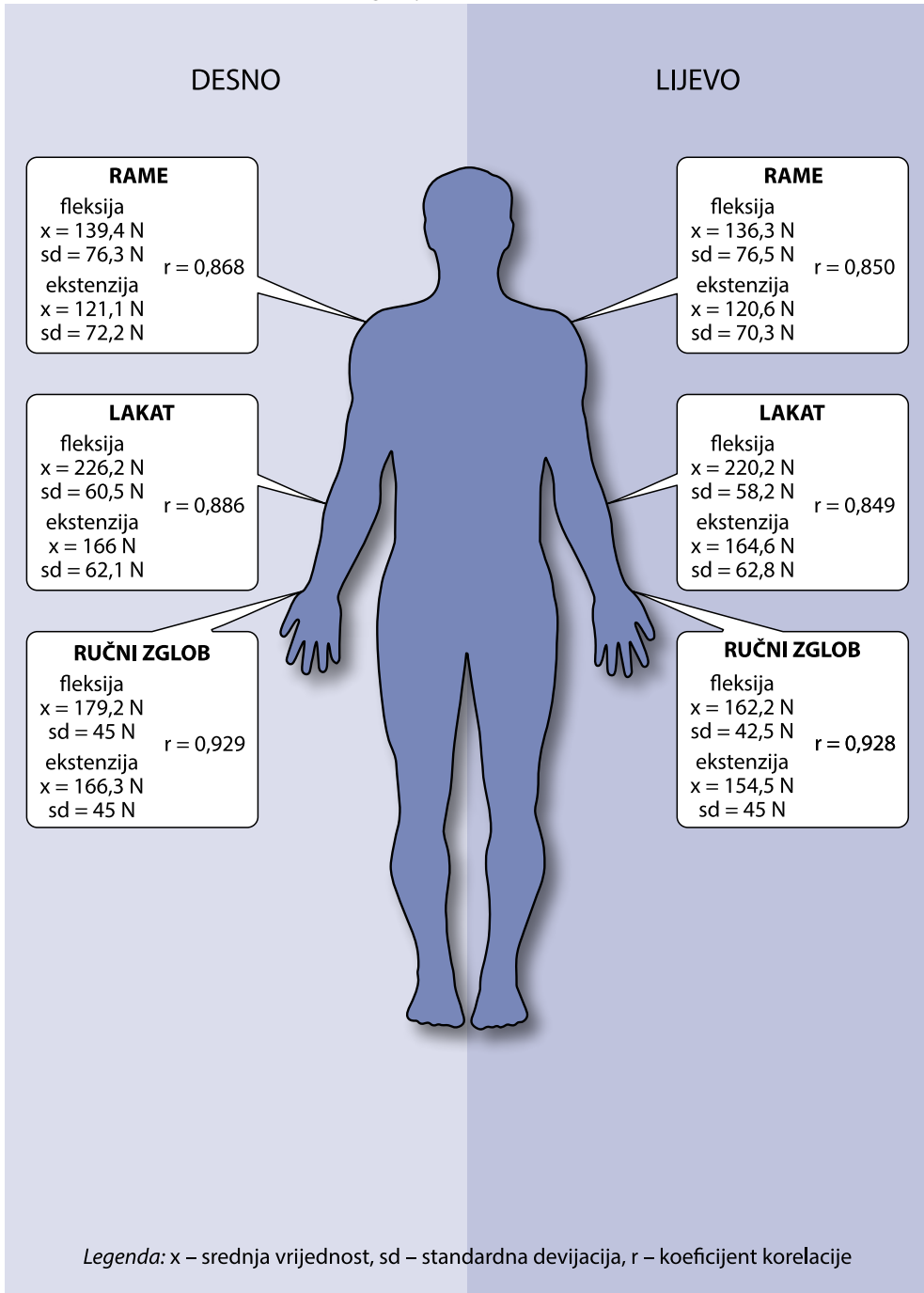
Test-retest metodom provjerena je pouzdanost dinamometra koji je korišten u ispitivanju mišićne jakosti. Utvrđene su korelacije za sve ispitivane mišićne skupine između 9,50 i 9,90 što pokazuje kako je mehanički, ručni dinamometar koji je korišten u ispitivanju pouzdan mjerni instrument za mjerenje mišićne jakosti na razini značajnosti  $p < 0,05$ .

S obzirom na spol, jakost mišića je statistički značajno veća kod muškaraca za sve ispitivane skupine mišića,  $p < 0,05$ .

Jakost stiska šake snažnije je povezana s fleksijskim skupinama mišića ruke i adduktorima ruke i noge, nego s ekstenzijskim i abdukcijским skupinama mišića ruku, nogu ili trupa na razini značajnosti  $p < 0,05$ .

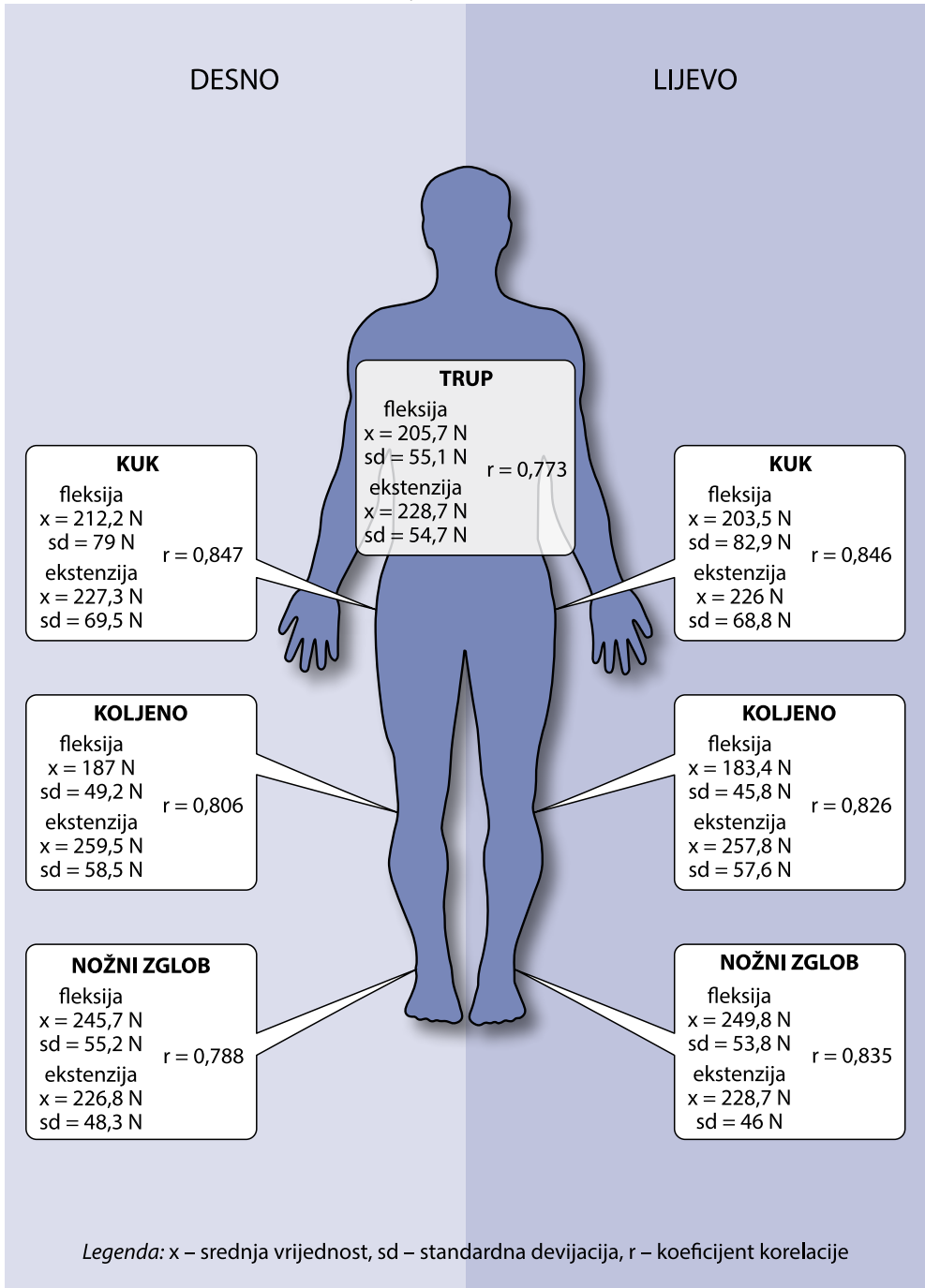
Distribucija jakosti ispitivanih skeletnih mišića i njihova povezanost prikazane su na Slikama 4, 5 i 6.

**Slika 4.** Distribucija mišićnih sila fleksora i ekstenzora i njihova povezanost za gornje ekstremitete



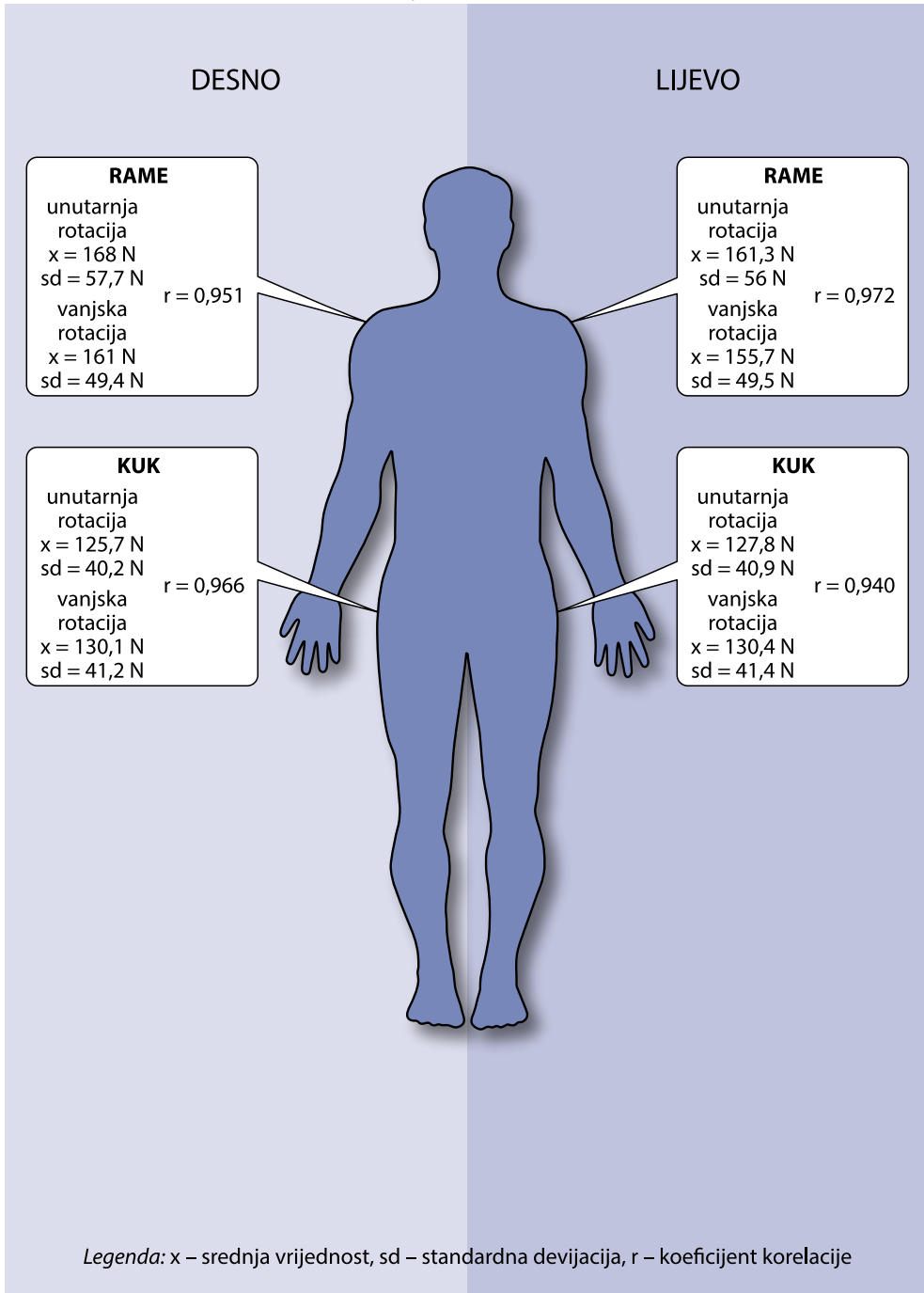
Izvor: sistematizacija autora.

**Slika 5.** Distribucija mišićnih sila fleksora i ekstenzora i njihova povezanost za donje ekstremitete



Izvor: sistematizacija autora.

**Slika 6.** Distribucija mišićnih sila vanjskih i unutarnjih rotatora i njihova povezanost za donje ekstremitete



Izvor: sistematizacija autora.

## 4. Rasprava

Matrice koeficijenata korelacije upućuju na iznimnu simetričnost mišićnih sila između lijeve i desne strane tijela što može upućivati na djelotvoran učinak križnog fenomena (cross-transfer, cross-education phenomenon) kod zdravih pojedinaca (Hendy i Lamon, 2017). Križni fenomen onemogućava značajnija odstupanja u vrijednostima mišićnih sila lijeve i desne strane tijela. Taj neuromišićni mehanizam možemo koristiti u fizioterapiji, gdje preko mišića zdrave strane djelujemo na mišiće ozlijeđene ili bolesne strane tijela. Navedeni fenomen dolazi do izražaja u zrcalnoj terapiji (Hendy i Lamon, 2017; Howatson i sur., 2013).

Utvrđene su snažne povezanosti mišićnih sila fleksora i ekstenzora ručnog zgloba, unutarnjih i vanjskih rotatora ramena te unutarnjih i vanjskih rotatora kuka.

Snažna povezanost postoji i kod mišićnih sila fleksora i ekstenzora lakta, fleksora i ekstenzora ramena, fleksora i ekstenzora trupa, fleksora i ekstenzora kuka, koljena i nožnog zgloba. Povezanost mišićnih sila nije jednodimenzionalna i upućuje na neuromišićne fenomene poput recipročne inervacije, sukcesivne indukcije ili iradijacije poznate još od doba Sherringtona početkom 20. stoljeća (Sherrington, 1906).

Vidljiva je snažna povezanost između sila mišića agonista i antagonista koji moraju usklađeno djelovati kako bi omogućili funkcionalno pokretanje. Dok agonist izvodi kretanju, antagonist se istovremeno opušta. Ekscitacija jedne skupine mišića često je istovremena s inhibicijom druge skupine.

Recipročna inervacija opisana je kao usklađena interakcija agonista i antagonista, tj. koordinacija između ekscentrične i koncentrične mišićne aktivnosti koja dovodi do selektivne kontrole pokreta (Bassóe i Syre, 2016). Recipročna inervacija uključuje: diferencijalnu aktivaciju motoričkih jedinica u mišiću; koordinaciju različitih mišića koji okružuju zglob: agonisti, antagonisti i sinergisti (tj. ekscentrična i koncentrična interakcija) i stabilizaciju radi osiguravanja selektivnog pokretanja; koordinaciju različitih dijelova tijela: desnog i lijevog, proksimalnog i distalnog, kroz neuromišićnu aktivnost (Bassóe i Syre, 2016).

Recipročna inervacija temelj je stabilnosti, selektivnosti i koordinacije u normalnom kretanju (Bassóe i Syre, 2016; Edwards, 2002).

Snažna povezanost mišićnih sila, npr. abduktora ramena i abduktora kuka, upućuje na sinergijsku ulogu mišića, ali i iradijacijski mehanizam koji kod blokade pokreta u kuku izaziva pokret u ramenu i obratno (Sherrington, 1906; Eccles i sur., 1979; Burke, 2007).

Distribucija mišićnih sila upućuje na višedimenzionalne obrasce pokretanja jer su oni fiziološki i uzrokovani neuromišićnim mehanizmima koji osiguravaju da pokretanje bude energetski racionalno i fluidno.

Mišići se u pokretanje uključuju lančano i distribucija mišićnih sila upućuje na snažnu povezanost svih mišićnih sila u jednom lancu (Jurinić i sur., 2021). Višedi-



menzionalni obrasci pokretanja poznati su u proprioceptivnoj neuromuskularnoj facilitaciji, fizioterapijskom pristupu kojeg je osmislio H. Kabath (Adler i sur., 2007).

Stisak šake treba promatrati kao zasebnu kategoriju jer sile stiska šake nisu povezane s mišićnim silama ispitivanih skupina mišića.

Postoji fenomen kod povezanosti mišićnih sila fleksora i ekstenzora koljena koji upućuje na optimalnu razliku u jačini mišića u korist ekstenzora (Whiteley i sur., 2012). U slučaju značajnijeg smanjenja mišićne jakosti ekstenzora koljena, čime je narušen normalni odnos fleksorne i ekstenzorne skupine mišića koljena, može doći kod osoba starije životne dobi do veće učestalosti padova, prijeloma i funkcionalnog ograničenja (Nilwik i sur., 2013; Carter i sur., 2012). Za prevenciju i/ili poboljšanje mišićne ravnoteže fleksora i ekstenzora koljena bitno je u fizioterapiji osoba starije životne dobi djelovati na funkcionalnu stabilnost (Oliviera i sur., 2015).

O odnosu mišićne jakosti fleksora i ekstenzora koljena postoji mnoštvo radova, kao i o važnosti tog odnosa za stabilnost koljena (Ruas i sur., 2019, Tabor i sur., 2021). Bilo bi zanimljivo istražiti da li taj odnos ili razlika u jačini u korist ekstenzora koljena konvergira zlatnom presjeku.

Poznato je da je ljudsko tijelo antropometrijski proporcionalno u svim dijelovima prema pravilima zlatnog presjeka. I nije nužna matematička točnost koliko grupiranje rezultata oko broja  $\phi$  (fi) koji iznosi približno 1.6180339887... Radi se o imaginarnom broju poput broja  $\pi$  (p). U prirodi su česte takve približnosti (Zlatic, 2013).

Postojanje neravnoteže u mišićnim silama fleksora i ekstenzora koljena, potvrđenih dinamometrijom, može upućivati na terapijski plan, ali i opasnost od težih ozljeda ukoliko neravnoteža traje duže vrijeme.

Također, neravnoteža mišićnih sila unutarnjih i vanjskih rotatora ramena ili kuka upozorava na razvoj nestabilnosti tih zglobova i ukoliko potraje duže vrijeme izlazimo se opasnosti od ozljede ili stvaramo pretpostavke za degenerativne promjene.

## 5. Zaključak

Poznavanje normalne distribucije mišićnih sila kod zdrave populacije daje nam uvid u funkcioniranje neuromišićnih mehanizama koji omogućavaju funkcionalno pokretanje. Dinamometrija je jednostavan način ispitivanja mišićnih sila, gdje osim jačine ispitujemo i odnos između jačina pojedinih mišićnih skupina kako bi definirali ciljeve i odgovarajući fizioterapijski plan za svakog pojedinca.

Dobiveni rezultati upućuju na to da postoje jasni obrasci mišićnih sila, posebno unutar odnosa agonist – antagonist, fleksori – ekstenzori i unutarnji i vanjski rotatori. Distribucija mišićnih sila u ljudskom tijelu potvrđuje funkcioniranje mnoštva neuromišićnih fenomena. Svaki disbalans može biti prediktivni čimbenik za nastanak ozljede koja će bitno ograničiti funkcionalno pokretanje.

## Literatura

1. Adler, SS., Beckers, D., i Buck, M. (2007). *PNF in Practice – An Illustrated Guide*. 3<sup>rd</sup> ed. Springer.
2. Bassóe Gjelsvik, BE., i Syre, L. (2016). *The Bobath Concept in Adult Neurology*. 2<sup>nd</sup> ed. Thieme: Stuttgart.
3. Burke, RE. (2007). Sir Charles Sherrington's The integrative action of the nervous system: a centenary appreciation. *Brain*, 130(4), 887- 894. <https://doi.org/10.1093/brain/awm022>
4. Carter, CS., Marzetti, E., Leeuwenburgh, C., Manini, T., Foster, TC., Groban, L., Scarpace, PJ., i Morgan, D. (2012). Usefulness of Preclinical Models for Assessing the Efficacy of Late-Life Interventions for Sarcopenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 67A(1), 17-27. <https://doi.org/10.1093/gerona/glr042>
5. Chen, L., Nelson, DR., Zhao, Y., Cui, Z., i Johnston, JA. (2013). Relationship between muscle mass and muscle strength, and the impact of comorbidities: a population-based, cross-sectional study of older adults in the United States. *BMC Geriatrics*, 13(74), 1-8. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-13-74>
6. Eccles, JC., i Gibson, WC. (1979). *Sherrington: His Life and Thought*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61864-2>
7. Edwards, S. (2002). *Neurological Physiotherapy*. 2<sup>nd</sup> ed. London: Churchill Livingstone.
8. Filipec, M., Lončarić Kelečić, I., i Jurinić, A. (2020). *Dinamometrija*. Zagreb: Libertas.
9. Hendy, AM., i Lamon, S. (2017). The Cross-Education Phenomenon: Brain and Beyond. *Front. Physiol.*, 8, Article 297. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00297>
10. Howatson, G., Zult, T., Farthing, JP., Zijdewind, I., i Hortobágyi, T. (2013). Mirror training to augment cross-education during resistance training: a hypothesis. *Front. Hum. Neurosci.*, 7, Article 396. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00396>
11. Jurinić, A., Dubravčić-Šimunjak, S., Mesarić, J., i Stavljenić Rukavina, A. (2021). Povezanost mišićnih sila u Jandinim mišićnim lancima pokretanja ekstremiteta. *Physioth. Croat.*, 17, Suppl 1, 87-92.
12. McLeod, M., Breen, L., Hamilton, DL., i Philip, A. (2016). Live strong and prosper: the importance of skeletal muscle strength for healthy ageing. *Biogerontology*, 17, 497–510. <https://doi.org/10.1007/s10522-015-9631-7>
13. Morin, M., Duchesne, E., Bernier, J., Blanchette, P., Langlois, D., i Hébert, LJ. (2021). What is Known About Muscle Strength Reference Values for Adults Measured by Hand-Held Dynamometry: A Scoping Review. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*, 4(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2021.100172>
14. Mukund, K., i Subramaniam, S. (2020). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *WIREs Syst Biol Med*, 12, 1-46. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1462>
15. Newman, AB., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, EM., Goodpaster, BH., Kritchevsky, SB., Tylavsky, FB., Rubin, SM., i Harris, TB. (2006). Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 61, 72–77. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.1.72>
16. Nilwik, R., Snijders, T., Leenders, M., Groen, BBL., Kranenburg, JV., Verdijk, LB., i Loon, LJC.V. (2013). The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol*, 48(1), 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.02.012>

17. Oliveira, LC., Oliveira, RG., i Almeida Pires-Oliveira, DA. (2015). The Pilates method improves the relationship agonist/antagonist flexor and extensor knee in elderly: a randomized controlled trial. *MTP&Rehab Journal*, 13(278). <https://doi.org/10.17784/mtprehabJournal.2015.13.278>
18. Performance Health. (2022). *Chatillon DMG Mechanical Dynamometer Series*. <https://www.performancehealth.com/chatillon-dmg-mechanical-dynamometer-series>
19. Purves, D., Augustine, GJ., Fitzpatrick, D., Katz, LC., LaMantia, As., O McNamara, J., i Williams, SM. (2001). *Neuroscience – The Motor Unit*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Sinauer Associates Inc.
20. Ruas, CV., Pinto, RS., Haff, GG., Lima, CD., Pinto, MD., i Brown, LE. (2019). Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: a Comprehensive Review. *Sports Medicine*, 5(11). <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0185-0>
21. Sherrington, CS. (1906). *The integrative action of the nervous system*. New Haven: Yale University Press.
22. Shumway-Cook, A., i Woollacott, M. (2012). *Motor Control, Translating Research into Clinical Practice*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins
23. Stark, T., Walker, B., Phillips, JK., Fejer, R., i Beck, R. (2011). Hand-held Dynamometry Correlation With the Gold Standard Isokinetic Dynamometry: A Systematic Review. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 3(5), 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.10.025>
24. Hrvatski zavod za javno zdravstvo. (2010). *Međunarodna klasifikacija funkcioniranja, onesposobljenosti i zdravlja*. Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Medicinska naklada.
25. Tabor, P., Iwanska, D., Mazurkiewicz, A., Urbanik, C., i Mastalerz, A. (2021). The Hamstring/Quadriceps Ratio in Young Men and Its Relationship with the Functional Symmetry of the Lower Limb in Young Men. *Symmetry*, 13(11), 2033. <https://doi.org/10.3390/sym13112033>
26. Whiteley, R., Jacobsen, P., Prior, S., Skazalski, C., Otten, R., i Johnson, A. (2012). Correlation of isokinetic and novel hand-held dynamometry measures of knee flexion and extension strength testing. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15, 444–450. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.01.003>
27. World Health Organization. (2001). *International classification of functioning, disability and health*. Geneva: World Health Organization.
28. Zlatić, S. (2013). Zlatni rez. *Tehnicki journal*, 7(1), 84-90.



## **Skeletal muscle strength distribution and neuromuscular phenomena**

### **Abstract**

Muscle strength is an important measurement feature in physiotherapy because it contributes to the objectification of assessment and performance measurement. Muscle strength is most often measured with hand-held dynamometers. Dynamometry is a valid and reliable method in clinical physiotherapy. Literature data suggests neuromuscular phenomena that are responsible for muscle strength and their interrelationship. In this paper, the distribution of skeletal muscle forces and their connections are presented. Neuromuscular phenomena that cause such a distribution are also considered. The examination of muscle forces was performed within the internal scientific project „Examination of the connection between health habits, physical activity and muscle strength” of Libertas International University.

**Keywords:** muscle strength distribution, hand dynamometer, skeletal muscle, neuromuscular phenomena