

KEY POINTS

CALF STRAINS

ANATOMY



There are 3 main muscles that we need to differentiate: soleus, gastrocnemius and plantaris. Soleus (monoarticular) is the biggest force producer regardless of the speed of movement. Gastrocnemius and plantaris are both biarticular muscles responsible for knee flexion and plantar flexion. The calf complex exhibits very complicated architecture, requiring a very specific approach depending on the structure involved.

INJURY MECHANISM

High tensile forces (up to 11x BW) and high rate of loading (>250 BW/s) combined with multidimensional length changes. Multiple sites of failure indicate a variety of mechanisms.



THE IMPORTANCE OF THE CALF COMPLEX



The calf complex is the most important muscle group for nearly every type of locomotion. They are the biggest force producers, especially the soleus, which produces forces up to 9 x BW. The soleus is active regardless of the amount of knee flexion, while the gastrocnemius is less active in more knee flexion. Generally, horizontally oriented activities are more demanding on the calf complex compared to vertically oriented ones.

STRENGTH AND ENDURANCE GOALS

Deficits are usually present along the entire continuum of strength (max. strength - max. velocity), so addressing all aspects of the force-velocity curve is paramount.

- Max. strength - peak force of 2 x BW (ecc) on seated calf raises and 0.8 - 2 BW 1RM on standing 1-leg calf raise (sport-specific values)
- Strength endurance - 1-leg calf raise (37 reps for males aged 20-27)
- Explosive strength endurance - Side Hop Test (55 reps in 30 s)



(P)REHAB



Starting with controlled loading (double to single leg calf raises) and potentially biasing specific structures by altering foot position. The goal should be (depending on the individual demands) to achieve the strength and endurance standards, while being aware of the discrepancy in the rate of loading between gym and field activities. Stretching and foam rolling provide marginal benefits.

MULTIDIRECTIONAL FOCUS AND VARYING SURFACES

Off-axis (multidirectional) movements and length changes cannot be replicated with anteroposteriorly directed exercises. There is also more co-contraction when multidirectional movements are performed. Different surfaces place different demands on the lower extremities. The softer the surface, the stiffer the extremities need to be, and vice versa.

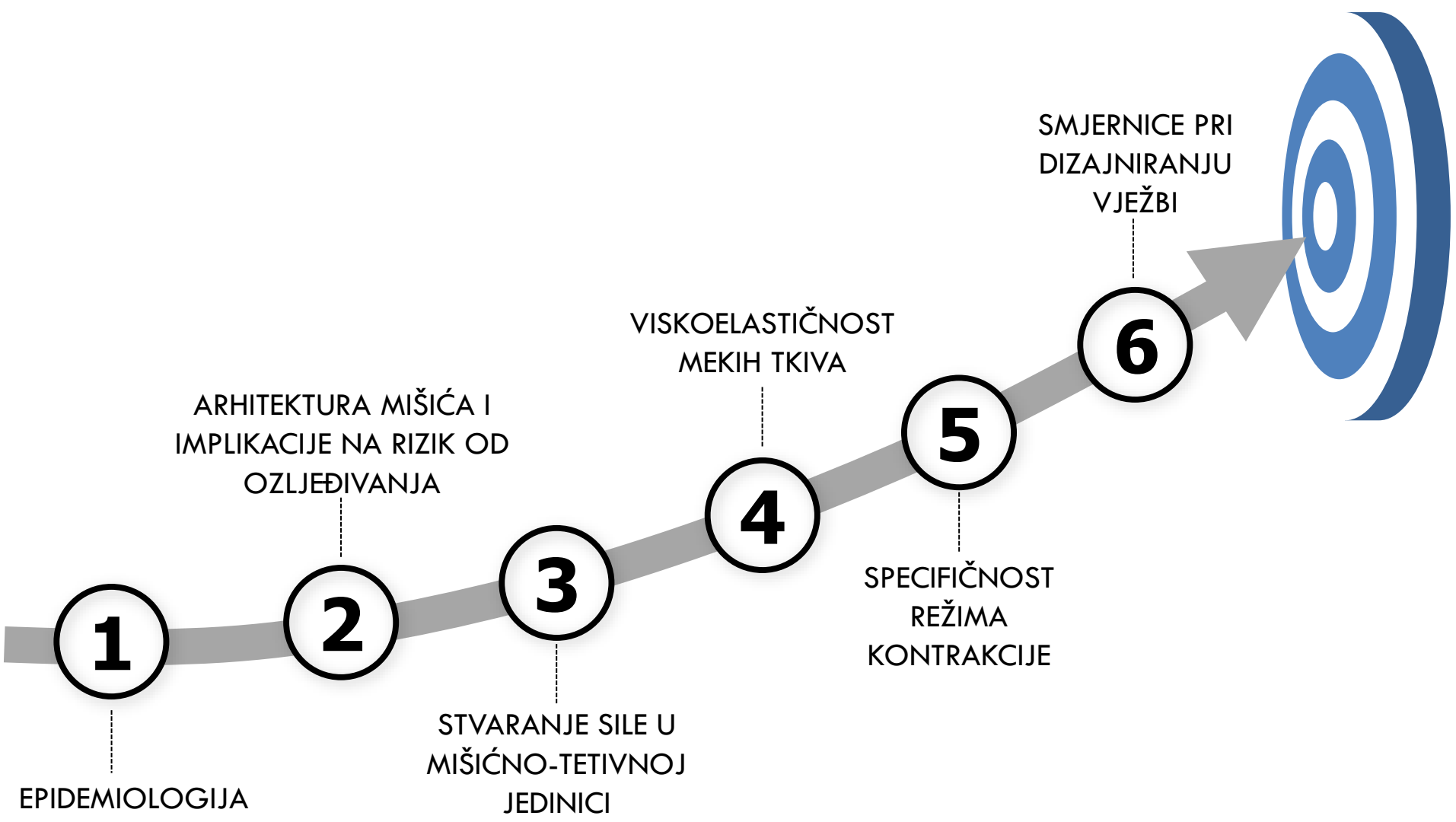


LITERATURE

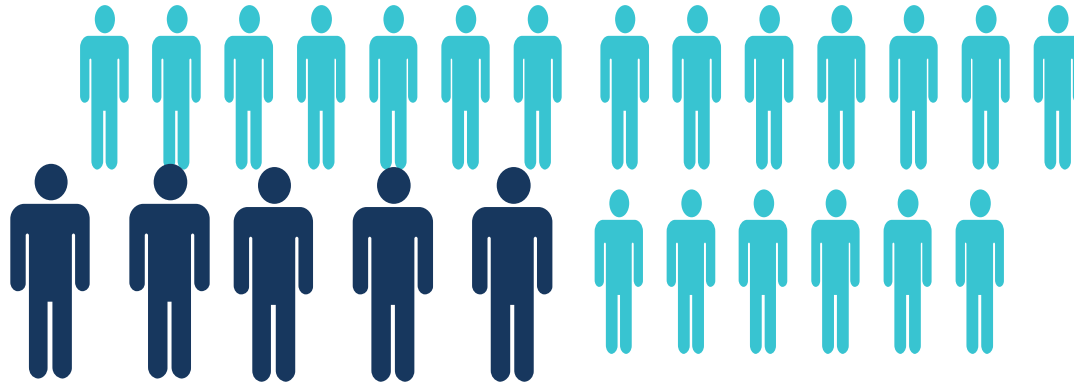
1. Dorn, T. W., Lin, Y.-C., & Pandy, M. G. (2012). Estimates of muscle function in human gait depend on how foot-ground contact is modelled. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 15(6), 657-668. <https://doi.org/10.1080/10255842.2011.554413>
2. Green, B., Lin, M., Schache, A. G., McClelland, J. A., Semciw, A. I., Rotstein, A., Cook, J., & Pizzari, T. (2020). Calf muscle strain injuries in elite Australian Football players: A descriptive epidemiological evaluation. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30(1), 174-184. <https://doi.org/10.1111/sms.13552>
3. Hamner, S. R., & Delp, S. L. (2013). Muscle contributions to fore-aft and vertical body mass center accelerations over a range of running speeds. *Journal of Biomechanics*, 46(4), 780-787. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.11.024>
4. Hébert-Losier, K., Wessman, C., Alricsson, M., & Svantesson, U. (2017). Updated reliability and normative values for the standing heel-rise test in healthy adults. *Physiotherapy (United Kingdom)*, 103(4), 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2017.03.002>
5. Landin, D., Thompson, M., & Reid, M. (2015). Knee and Ankle Joint Angles Influence the Plantarflexion Torque of the Gastrocnemius. *Journal of Clinical Medicine Research*, 7(8), 602-606. <https://doi.org/10.14740/jocmr2107w>
6. Lauber, B., Lichtwark, C. A., & Cresswell, A. C. (2014). Reciprocal activation of gastrocnemius and soleus motor units is associated with fascicle length change during knee flexion. *Physiological Reports*, 2(6), e12044. <https://doi.org/10.14814/phy2.12044>
7. Mahieu, N. N., Witvrouw, E., Stevens, V., Van Tiggelen, D., & Roget, P. (2006). Intrinsic risk factors for the development of Achilles tendon overuse injury: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 34(2), 226-235. <https://doi.org/10.1177/0363546505279918>
8. McAuliffe, S., Tabuena, A., McCreesh, K., O'Keefe, M., Hurley, J., Comyns, T., Purtill, H., O'Neill, S., & O'Sullivan, K. (2019). Altered strength profile in Achilles tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Athletic Training*, 54(8), 889-900. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43-18>
9. O'Neill, S., Barry, S., & Watson, P. (2019). Plantarflexor strength and endurance deficits associated with mid-portion Achilles tendinopathy: The role of soleus. *Physical Therapy in Sport*, 37, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.03.002>
10. Gustavsson, A., Neeter, C., Thomeé, P., Grävare Silbernagel, K., Augustsson, J., Thomeé, R., & Karlsson, J. (2006). A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14(8), 778-788. <https://doi.org/10.1007/s00167-006-0045-6>

Utjecaj
arhitekture mišića
na pojavnost
ozljeda – primjer
stražnje lože





1. Epidemiologija





2001



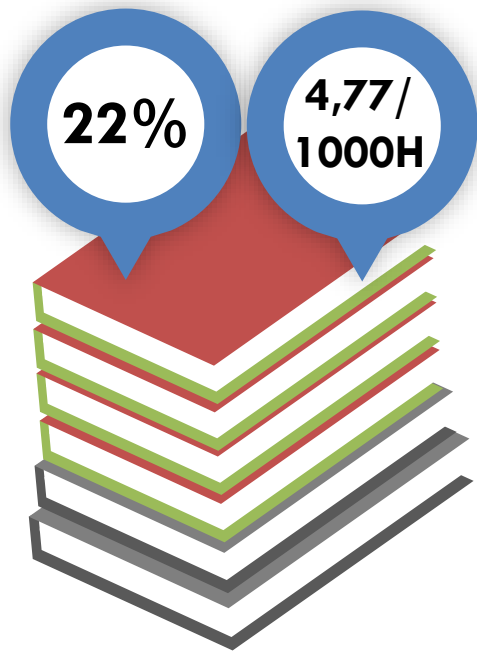
2014



Povećanje incidencije od 2,3%
godišnje (Ekstrand et al., 2016)

Prevalencija/ incidencija

(Ekstrand et al., 2016)



Trošak i vrijeme izbivanja

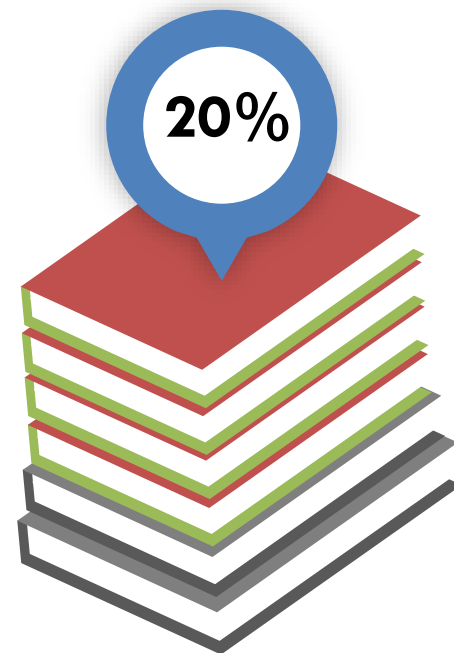
(Bourne et al., 2018)

\$280 000



Recidivi

(Bourne et al., 2018)





Edouard et al., 2016

Najčešća mišična ozljeda

17,1% od svih ozljeda

M (22,4 ± 3,4/1000h)

Ž (11,5 ± 2,6/1000h)



Hagel, 2012

4/1000h



Feeley et al., 2008

Najzastupljenija mišična ozljeda

Elliot et al., 2011

0,77 / 1000 jedinica izloženosti



Brooks et al., 2006

5,6/1000 h utakmica

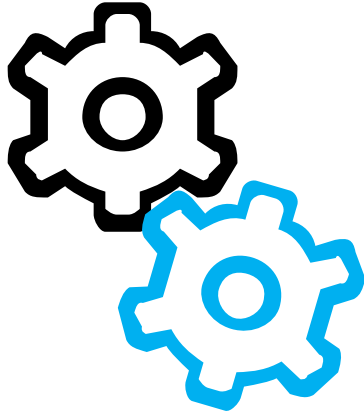
Riziční čimbenici

Table 1 Risk factors linked to hamstring strain injuries, either through prospective, retrospective or anecdotal evidence. The table shows the typical manner in which our team would classify the risk factors associated with hamstring strain injury

Important		Semi-important (implement where possible)	Recognised but does not inform normal practice
Specific risk factors	General risk factors		
Previous hamstring injury ¹⁴⁻¹⁶	ACWR (all parameters) ⁴⁸⁻⁵¹	BFIh muscle/tendon architecture ⁸³⁻⁸⁵	Wisdom teeth/dental hygiene ⁸⁶
Hamstring eccentric strength (fresh) ^{30 32 33}	Lumbopelvic hip stability ^{15 62-66}	Glute dominant hip extension pattern	TMJ dysfunction
Weekly speed exposure ⁴⁴	Functional strength ^{72 73}	SIJ kinematics	
Hamstring fatigue resistance ^{79 82 87}	ACWR (HSR/vHSR) ⁵²	Muscle fascicle length ³⁰	
	Psychosocial factors ⁵⁷	Tib/Fib joint	
	Individual recovery rates/strategies (sleep, rest, nutrition, massage, cryotherapy, hydrotherapy)	Environmental factors (eg, playing surface, travel, location of match, footwear, and so on)	
	Time between games ⁸⁸		
	Movement quality		
	Previous recent injury (any)		
	Aerobic fitness ⁷⁴		

Ipak...

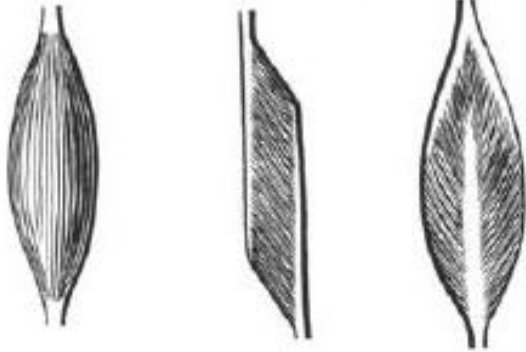
„...it is possible that the influence of a specific factor on the likelihood of suffering an HSI might not be statistically significant ($p < 0.05$) in itself, but relevant when it is used in conjunction with several other factors to develop a more robust predictive model. In other words, combining information from several modifiable and non-modifiable risk factors might lead to the development of a more robust model with an improved predictive ability.” – **Alaya et al., 2019**



2. Arhitektura i implikacije na rizik od ozljeđivanja

Podjela mišića po osi generiranja sile (smjeru)

Perasti



Vretenasti

Paralelni



Konvergentni



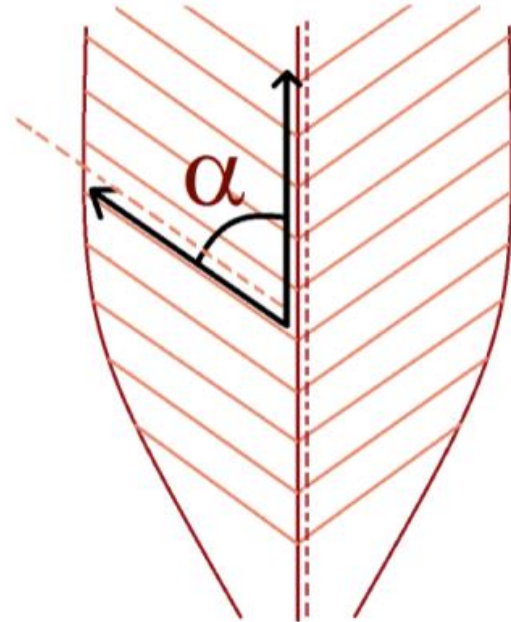
Cirkularni

Ključni pojmovi

- Penacijski kut (**PA**)
- Anatomski i fiziološki poprečni presjek (**ACSA - PCSA**)
- Architectural gearing ratio (**AGR**)
- Fascicle - fascicle length (**FL**)
- Muscle thickness (**MT**)
- Serijalna elastična komponenta (**SEC**)
- Paralelna elastična komponenta (**PEC**)

Penacijski kut

Kut između smjera
mišićnih vlakana i
a) Linije povlačenja
mišića (vanjske tetive)
b) Aponeuroze
(unutarnje tetive)

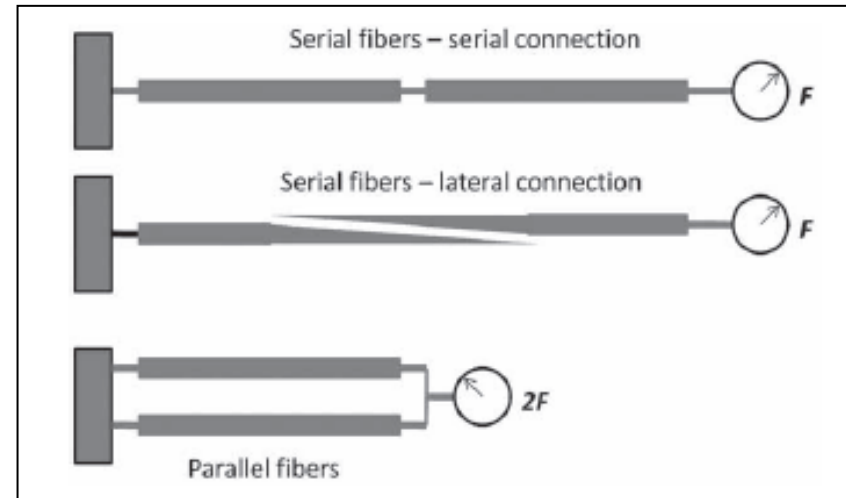


Utjecaj penacije mišića

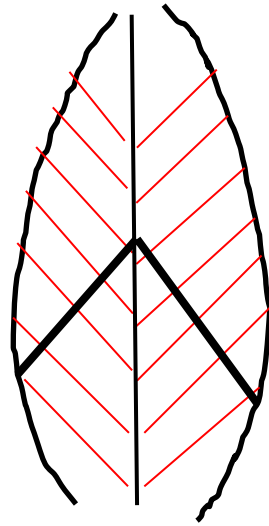
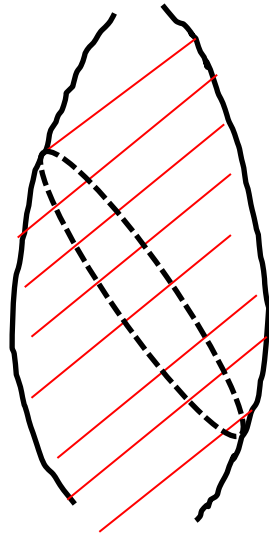
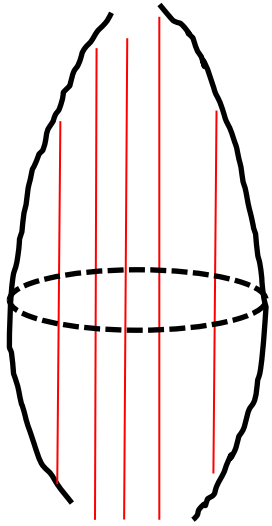
- Kod vretenastih i paralelnih mišića, sila se u cjelosti prenosi na tetivu – kod perastih dio ide u okolna tkiva
 - Penacija od 30° – još uvijek se 86% sile prenosi na tetivu (Lieber & Friden., 2001)
- vlakna mogu ići duž cijelog snopa (***spanning***), a mogu završiti i u sredini snopa (***non-spanning***) - vlakno može biti kraće od snopa
- Zbog svega navedenog dio sile se prenosi putem okolnog vezivnog tkiva – to se zove **lateralna/miofascijalna transmisija**
- Perasti mišići imaju kraća vlakna
- Različiti smjerovi skraćivanja vlakana i vanjske tetive
- Manje sarkomera u serijama – manje promjena duljine i brzine skraćivanja

Važnost lateralne poveznice i prijenosa sile

- Non-spanning vlakna su obično povezana u seriji, ali **lateralno**, a ne **end-to-end**
- To povećava površinu „poveznice” što smanjuje lokalni stres
- Brzina prijenosa kod jako dugih mišića sa jako dugim vlaknima bi inače bila prespora

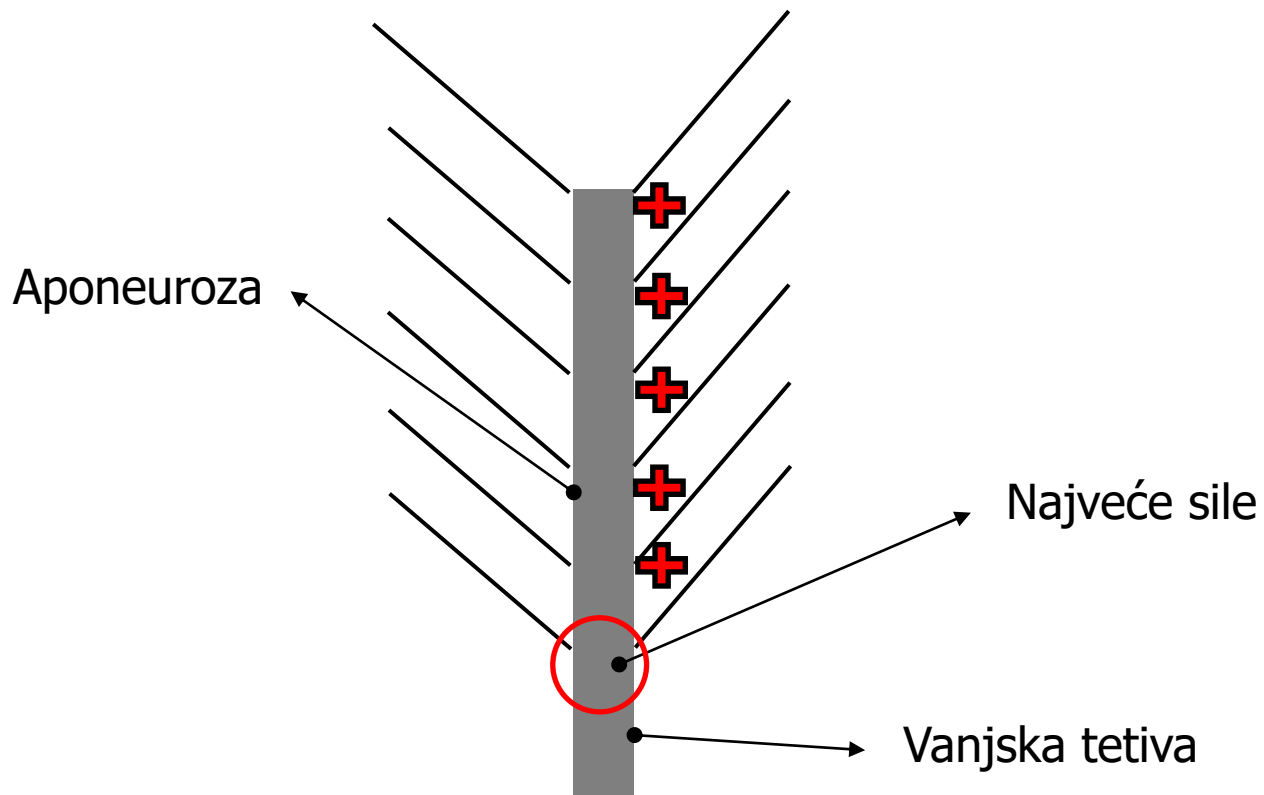


Zatsiorsky i Prilutsky, 2012



Zašto postoje perasti mišići?

- Ukupna površina kostura je premala da bi pružila polazišta za sve mišiće u tijelu
- Zbog toga postoje **aponeuroze** (unutarmišićne tetive) koje pružaju fleksibilne površine za hvatišta mišića
- Na istu površinu/volumen stane više vlakana u odnosu na vretenaste/paralelne i stoga mogu proizvesti veću silu
- Pojedinačna vlakna silu prenose na aponeurozu u paraleli, a duž aponeuroze se sila prenosi u seriji
- Na taj način zbraja se sila svakog vlakna pa je rezultantna sila najveća na kraju aponeuroze (*muscle-tendon junction* - MTJ)
- Recidivi se često događaju upravo u tom području (Koulouris i Connell, 2003; De Smet i Best, 2000)



Zašto je MTJ problematično područje?

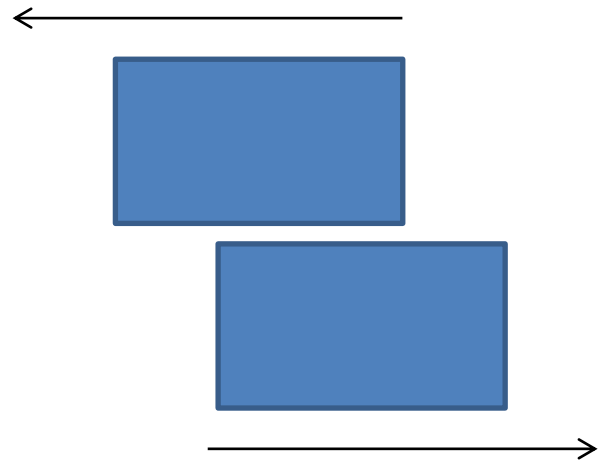
- Razlike u mehaničkim svojstvima tetive, mišića i aponeuroza – koncentracija stresa na prijelazu
- Različiti dijelovi tetiva i aponeuroza pokazuju različita svojstva
- Tetiva je mehanički varijabilno tkivo – najkruća je blizu kosti, a najelastičnija blizu mišića (Arruda et al., 2006) – **master mechanical tissue** (Paxton i Baar, 2007)

Što aponeuroza ima s tim?

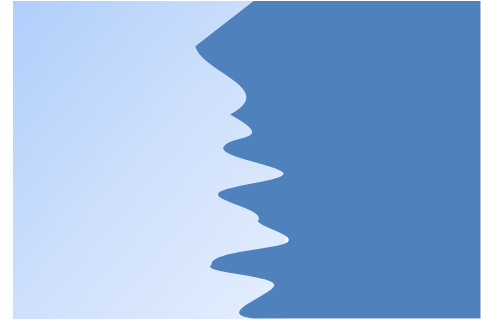
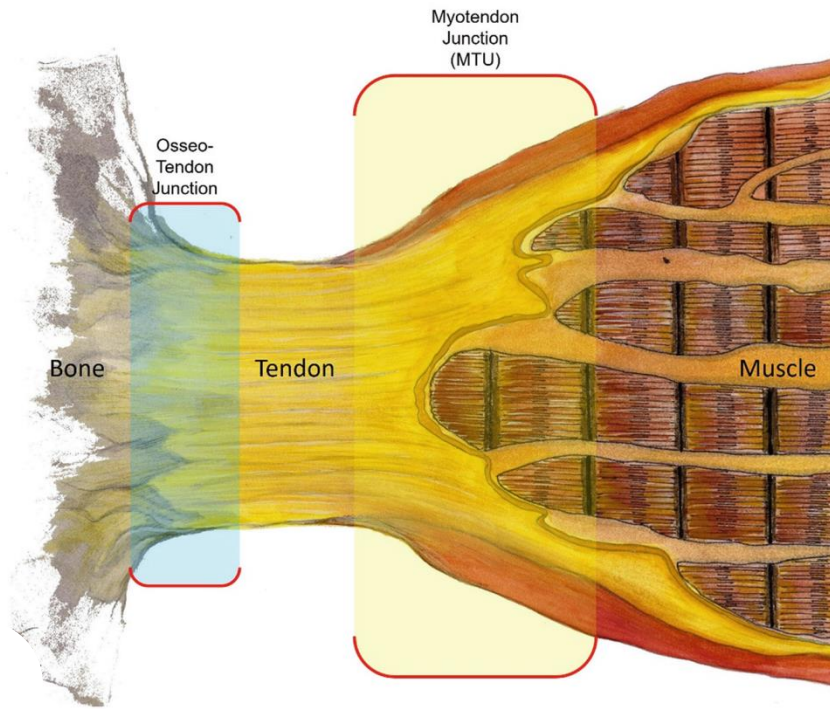
- Manja aponeuroza BFlh je prepoznata kao rizični čimbenik (Evangelidis et al., 2015)
- Smanjenje širine aponeuroze za 80% dovodi do 60% većeg istežanja MTJ-a (Rehorn & Blemker, 2010)
- Ozljeda MTJ je najčešća ozljeda stražnje lože (Koulouris & Connell, 2003; Orchard & Seward, 2002; Garrett, 1996; Garrett et al., 1989; Garrett et al., 1984; DeSmet i Best, 2000; Wangenstein et al., 2016)
- Hipertrofija dovodi do povećanja aponeuroze i penacijskog kuta (Abe et al., 2012; Wakahara et al., 2015) – uloga hipertrofije u prevenciji?

Građa MTJ-a smanjuje sile na prijelazu mišića na tetivu

- Na mjestu gdje se mišićna vlakna susreću s kolagenskim vlaknima tetive sila se prenosi **posmično** (engl. *shear*)
- To smanjuje lokalni stres koji bi inače bio jako velik
- Isprepletanost vlakana omogućava takvu transmisiju sile i povećava površinu kontakta



Posmični (shear) prijenos



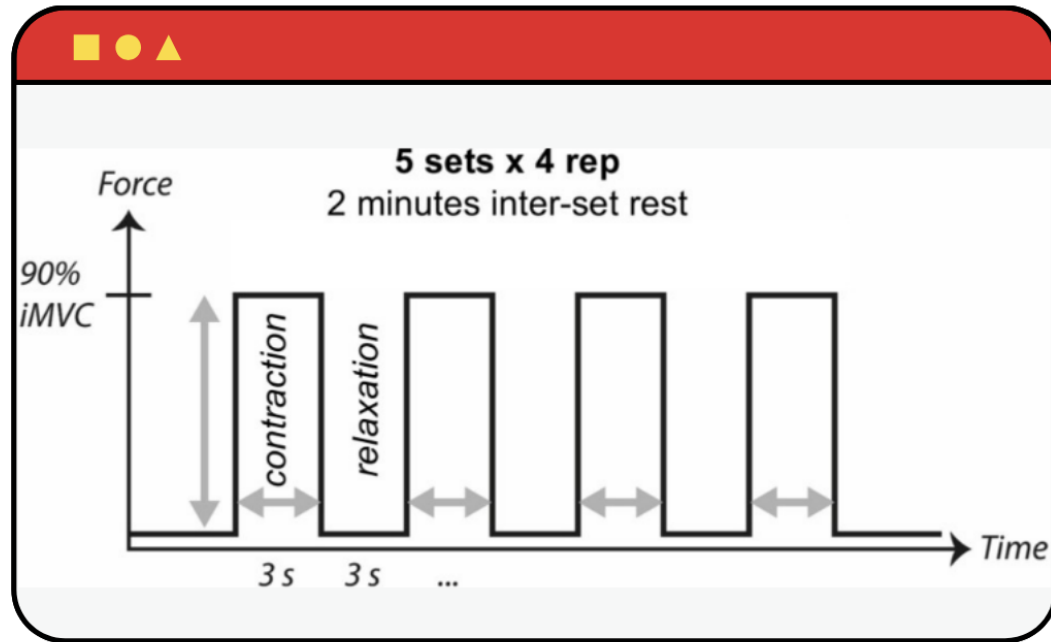
- Isprepletenost je veća kod sporih mišićnih vlakana koja se učestalo koriste nego kod brzih
- To djelomično objašnjava zašto DOMS više zahvaća brza vlakna

Prilagodba tetiva/aponeuroza na opterećenje

- Moguće da povećaju krutost kao odgovor na opterećenje (Thelen et al., 2005)
- Kruća tetiva/aponeuroza (i obrnuto) mogu dovesti do većeg izduljivanja mišićnih vlakana – disbalansi (Mersmann et al., 2017; Kubo et al., 2010; Han et al., 2017)
- Pliometrija je veći podražaj za mišić nego za tetivu
- Utjecaj sazrijevanja/puberteta – spolni hormoni

Protokol učinkovit za adaptaciju tetiva

Bohm et al., 2015



Optimalni podražaji za tetivu



Strain magnitude (izduljivanje) od **5%** (Arampatzis et al., 2007; 2010)



Minimalno 70, po možnosti **>85-90%** maksimalne voljne **kontraksije** (Bohm et al., 2015; Mersmann et al., 2017)



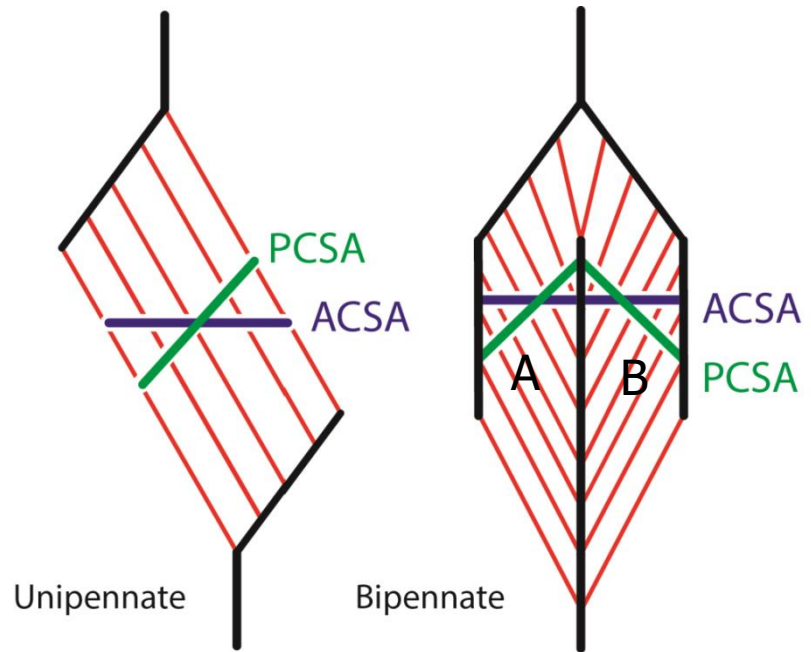
3 sekunde kontrakcija, 3 sekunde odmor (Arampatzis et al., 2007, 2010; Bohm et al., 2015)

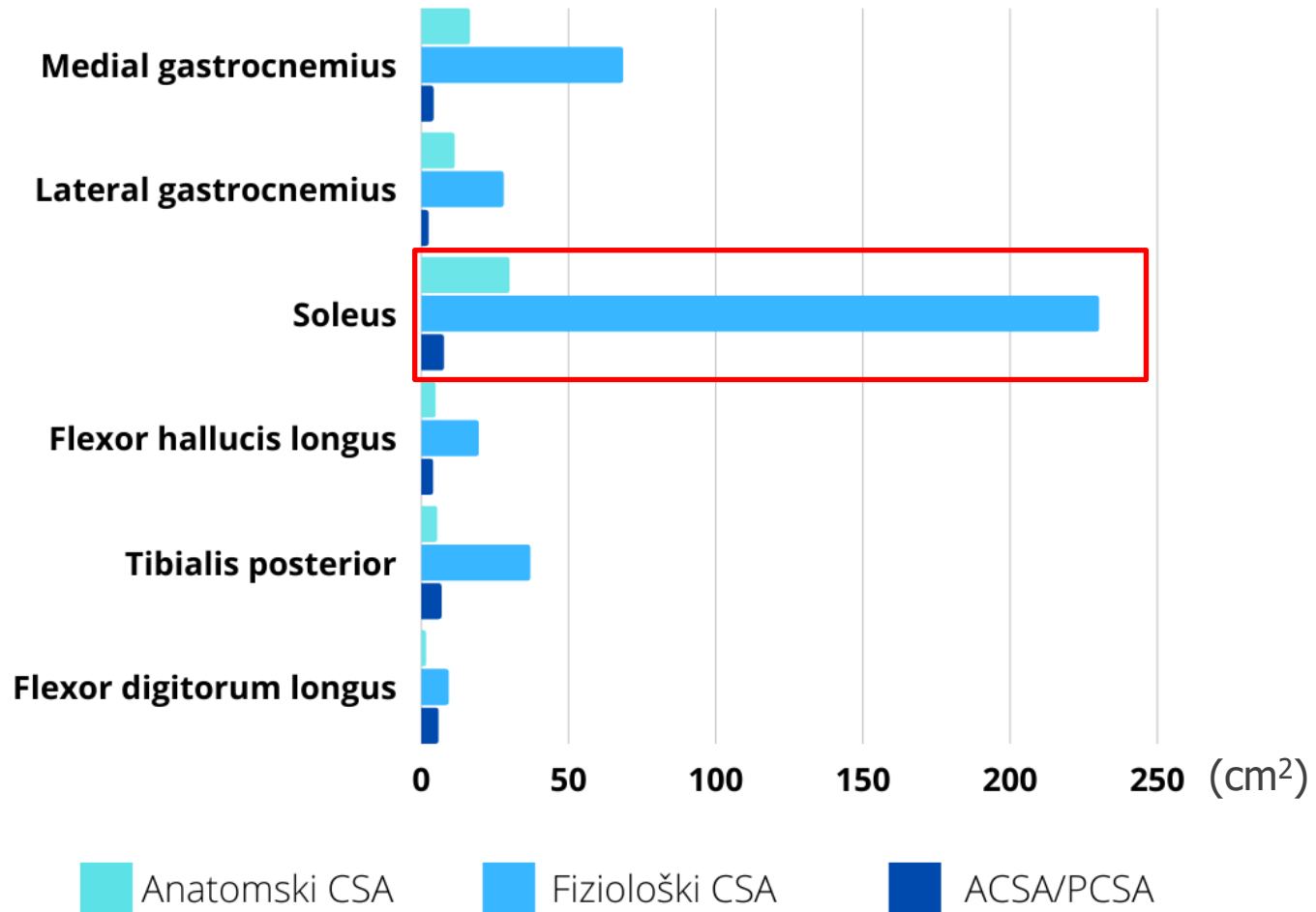


Period odmora između treninga 6-8h (Paxton et al., 2012)

Poprečni presjek

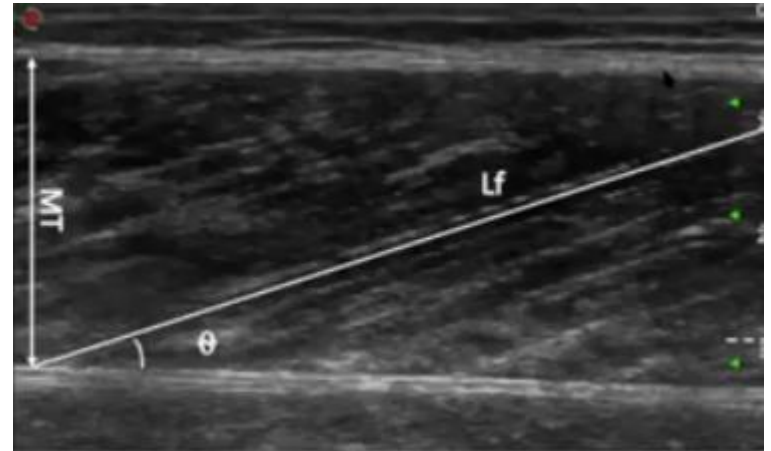
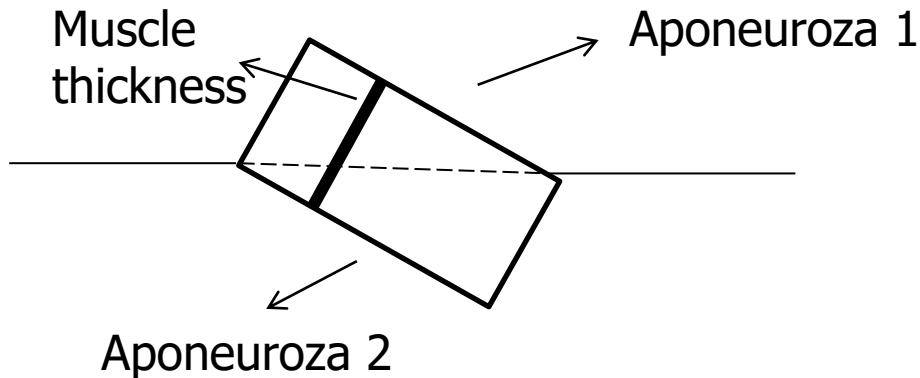
- Presjek okomito na mišićna vlakna (uzima u obzir penacijski kut) – **PCSA**
- Presjek okomito na liniju povlačenja mišića - **ACSA**
- Penacija vlakana povećava PCSA, pa može biti puno veći od ACSA
- Indikator aktivnih proteina sposobnih za proizvodnju sile
- Određuje maksimalnu silu koju mišić može proizvesti





Muscle thickness

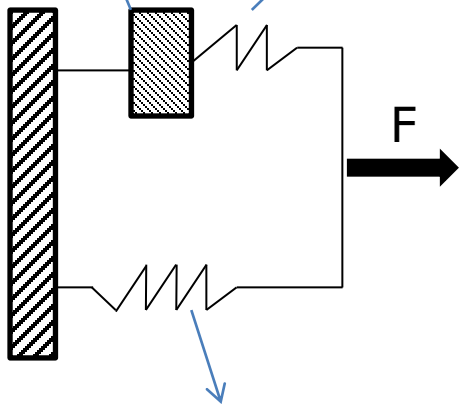
- Najkraća udaljenost između aponeuroze polazišta i hvatišta – između duboke i „plitke“ aponeuroze



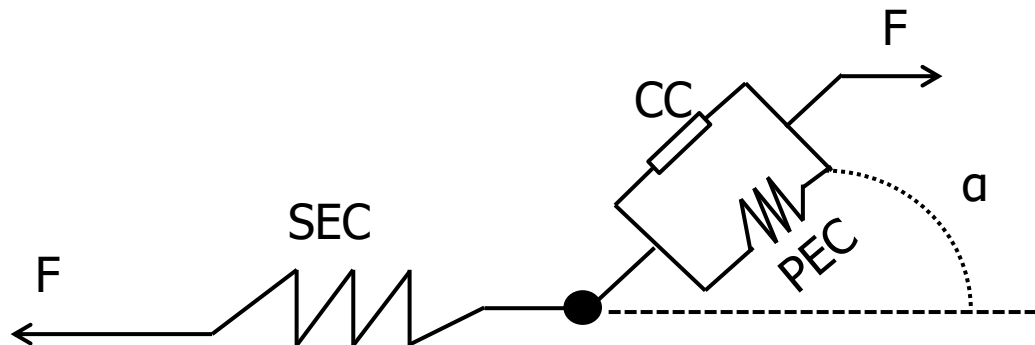
Hillov model mišiča

Kontraktilna
komponenta
(CC)

Serijalna elastična
komponenta (SEC)



Paralelna elastična
komponenta (PEC)



Iako se PEC i SEC smatraju vezivnim tkivima koja predstavljaju elastičnu komponentu modela, pokazalo se i da poprečni mostovi između aktinskih i miozinskih niti imaju elastična svojstva.

Paralelna elastična komponenta (PEC)

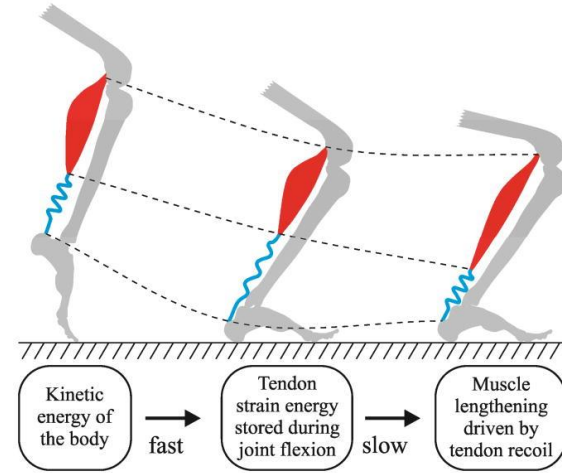
- Vezivna tkiva unutar i oko mišićnih vlakana
- Postavljena paralelno u odnosu na kontraktilnu komponentu (mišićna vlakna)
- Čine ju sarkolema, sarkoplazmatski retikulum, epimisium, perimisium i endomisium
- PEC je pridodan modelu da bi se objasnio otpor neaktivnog mišića istezanju

Serijalna elastična komponenta (SEC)

- Tetine, aponeuroze i titin – medijator hipertrofije?
(Krüger & Kötter, 2016)
- Postavljene u seriji sa mišićnim vlaknima
- Ponašaju se kao opruge, apsorbiraju energiju i povećavaju mehanički izlaz mišića – u ponavljanim skokovima tetive obave 45-60% ukupnog rada
(Voight et al., 1995)
- Elongacija (strain) SEC-a je obično između 2-4% (postotak u odnosu na duljinu u mirovanju)

Tetiva kao *shock absorber*

- Niz studija pokazuje važnost tetiva u kontekstu zaštite samih mišića od djelovanja prevelikih/brzih sila (Konow et al., 2012a, 2012b; Konow & Roberts, 2015; Roberts, 2016; Roberts & Azizi, 2010; Roberts & Konow, 2013)
- Asinkrono ponašanje tetive i kontraktilne komponente



[Exerc Sport Sci Rev](#). Author manuscript; available in PMC 2014 Oct 1.

PMCID: PMC3836820

Published in final edited form as:

NIHMSID: NIHMS515634

[Exerc Sport Sci Rev](#). 2013 Oct; 41(4): 10.1097/JES.0b013e3182a4e6d5.

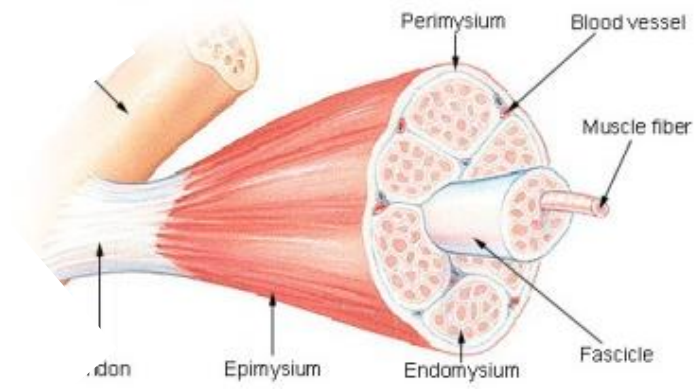
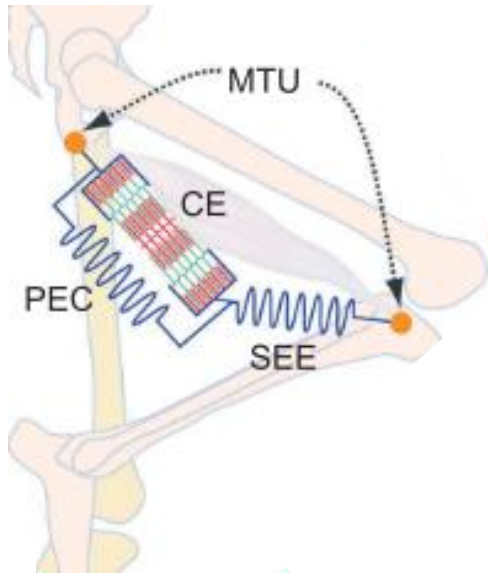
PMID: 23873133

doi: 10.1097/JES.0b013e3182a4e6d5

How tendons buffer energy dissipation by muscle

Thomas J. Roberts* and Nicolai Konow

• Author information • Copyright and License information • [Disclaimer](#)

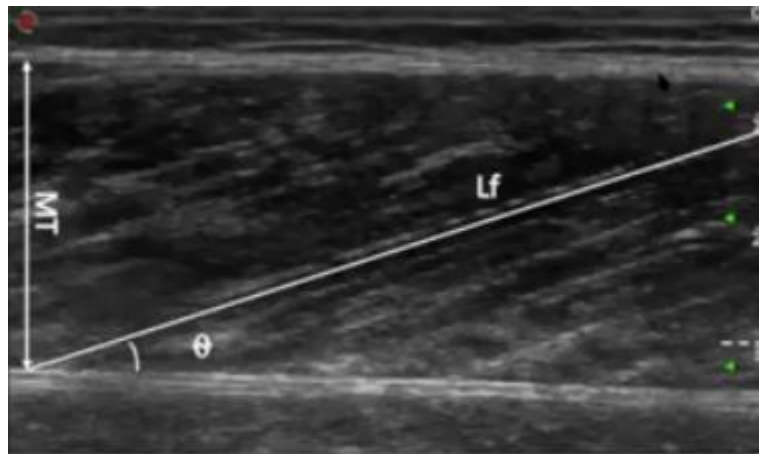


Short-range stiffness

- Otpor koji se javlja na početku elongacije mišića uslijed promjene kuta u zglobu
- Ovisi o prethodno stvorenoj sili kao rezultat odvajanja poprečnih mostova
- Prva linija obrane od iznenadnih vanjskih perturbacija
- Brži od monosinaptičkih refleksa (<20-40 ms)

Fascicle length (FL)

- Duljina snopa mišićnih vlakana, ne pojedinačnog vlakna
- Vlakno može biti kraće od duljine snopa

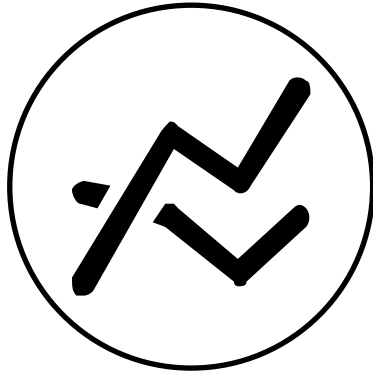


Architectural Gearing Ratio (AGR)

- Omjer promjene brzine cjelokupne MTU i mišićnih vlakana – opisuje omjer istežanja mišićnih vlakana u odnosu na cijelu MTU
- Povećanje penacijskog kuta i rotacija mišićnih vlakana
- Veći je kod perastih mišića i povećava se s porastom penacijskog kuta
- Perasti mišići imaju kraća vlakna – da nije učinka AGR-a, bili bi znatno podložniji ozljedi, a nisu (Garrett et al., 1988)

Implikacije

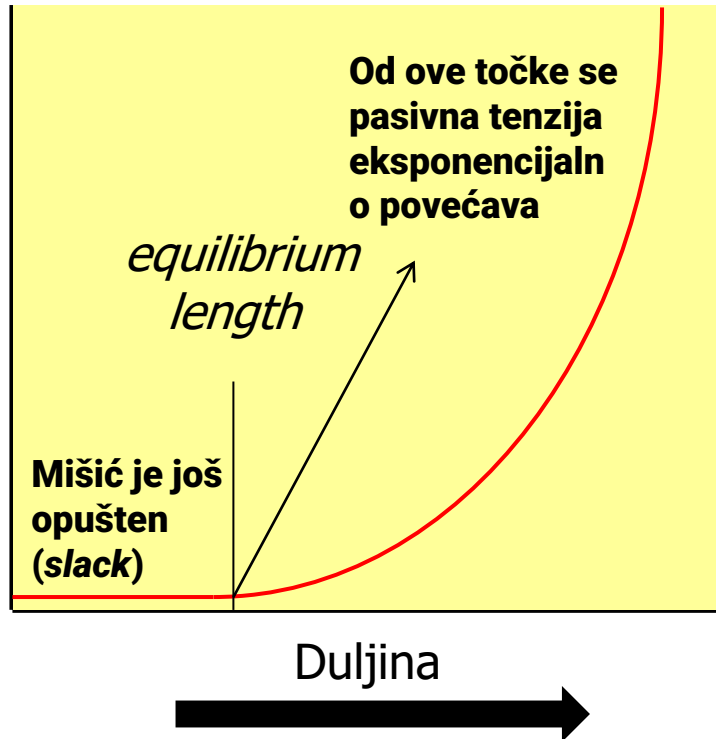
- Pri visokom AGR-u, mišićna vlakna se izduljuju puno manje nego cijela MTU – vjerojatno ostaju dominantno izometrijski kontrahirana
- Varijabilni AGR omogućava mišićima optimalnu funkciju u različitim situacijama (Brainerd & Azizi, 2005; Azizi & Roberts, 2014; Azizi et al., 2008)
- Najveći AGR je primijećen kod ekscentričnih i brzih kontrakcija (Azizi et al., 2008; Azizi & Roberts, 2014)
- Izraz „ekscentrično” je točan ako se ne uzme obzir asinkrono ponašanje mišićnih vlakana i cijele MTU
- AGR i SEC „štite” od ekscentrične kontrakcije mišićnih vlakana koja može biti opasna (Lieber et al., 1991)



3. Stvaranje sile u mišićno-tetivnoj jedinici

Krivulja duljine i napetosti (pasivna)

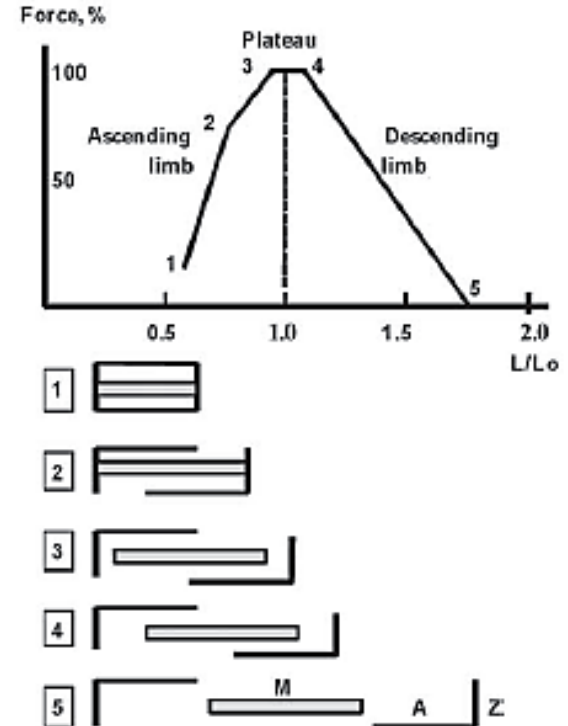
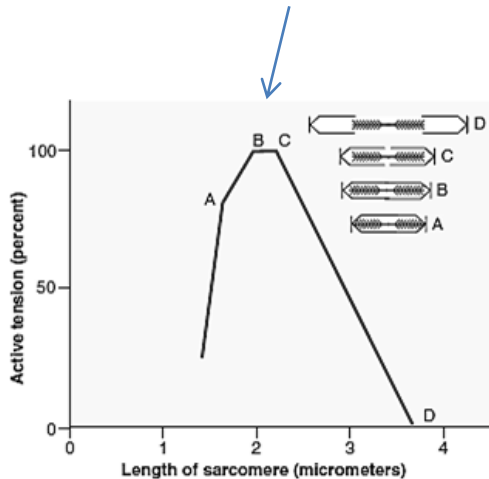
Sila/napetost



- Istežu se i serijalna i paralelna elastična komponenta
- Neke od njihovih sastavnica su različite krutosti
 - Titin (i ostali strukturalni proteini) pruža najviše otpora pri blagom/umjerenom istežanju
 - Tetive se uključuju više kad je veliko istežanje
- *Equilibrium length* je duljina izoliranog pasivnog mišića bez mehaničkog opterećenja, *resting length* je prirodna duljina mišića u anatomskom stavu

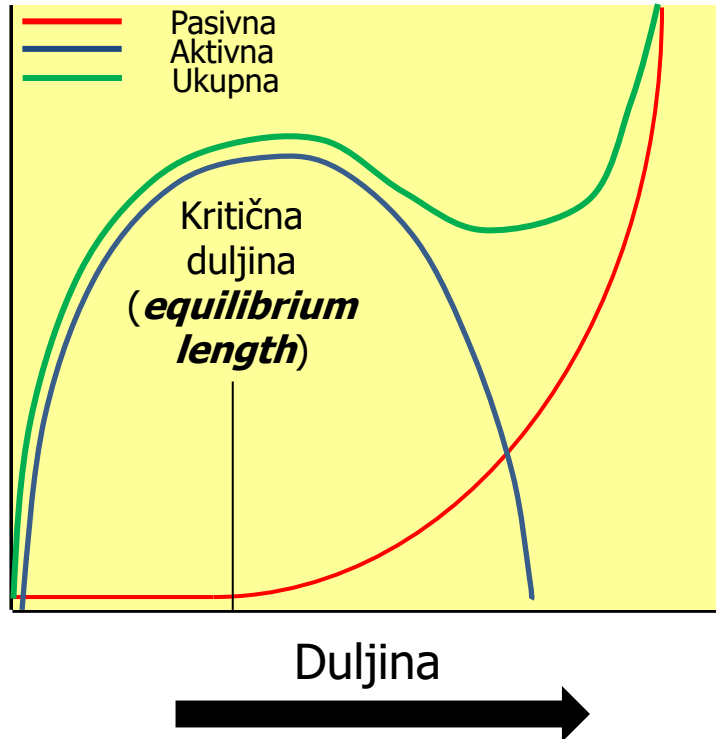
Aktivna

- Posljedica aktivnog razvoja sile u mišiću
- Sila stvorena u sarkomeri ovisi o broju prisutnih poprečnih mostova između aktinskih i miozinskih niti
- Duljina mišića mijenja taj broj tj. utječe na broj poprečnih mostova
- Duljina pri kojoj je najveće preklapanje aktinskih i miozinskih niti se zove **optimalna duljina**

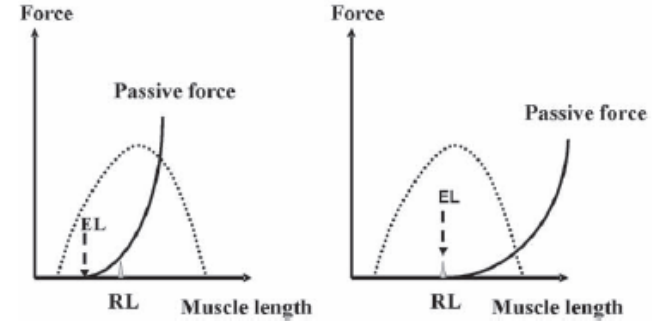


Ukupna

Sila/napetost



Zatsiorsky i Prilutsky, 2012. Mišići sa različitim udjelom vezivnog tkiva (lijevo – više vezivnog tkiva; desno – manje vezivnog tkiva)



- Pri kraćim duljinama mišića (do resting length) sva sila je stvorena aktivno
- Veća sila se može stvoriti kad i pasivni elementi doprinose (kad se zbroje obe krivulje)
- Do EL/RL silu je proizvedena isključivo aktivno, poslije toga doprinosi i pasivna sila koja nastaje kao otpor istežanju

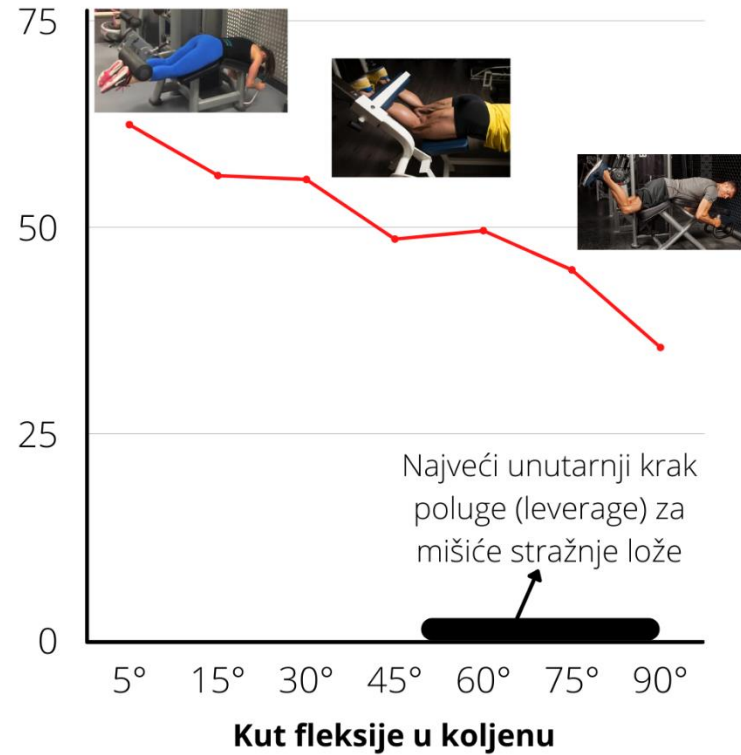
Optimalna duljina

- Duljina pri kojoj mišić razvija najveću silu (5 ° fleksije)
- Stražnje lože proizvode veće sile kad je prisutna fleksija u kuku – veća jakost i hipertrofija (Bohannon et al., 1986;

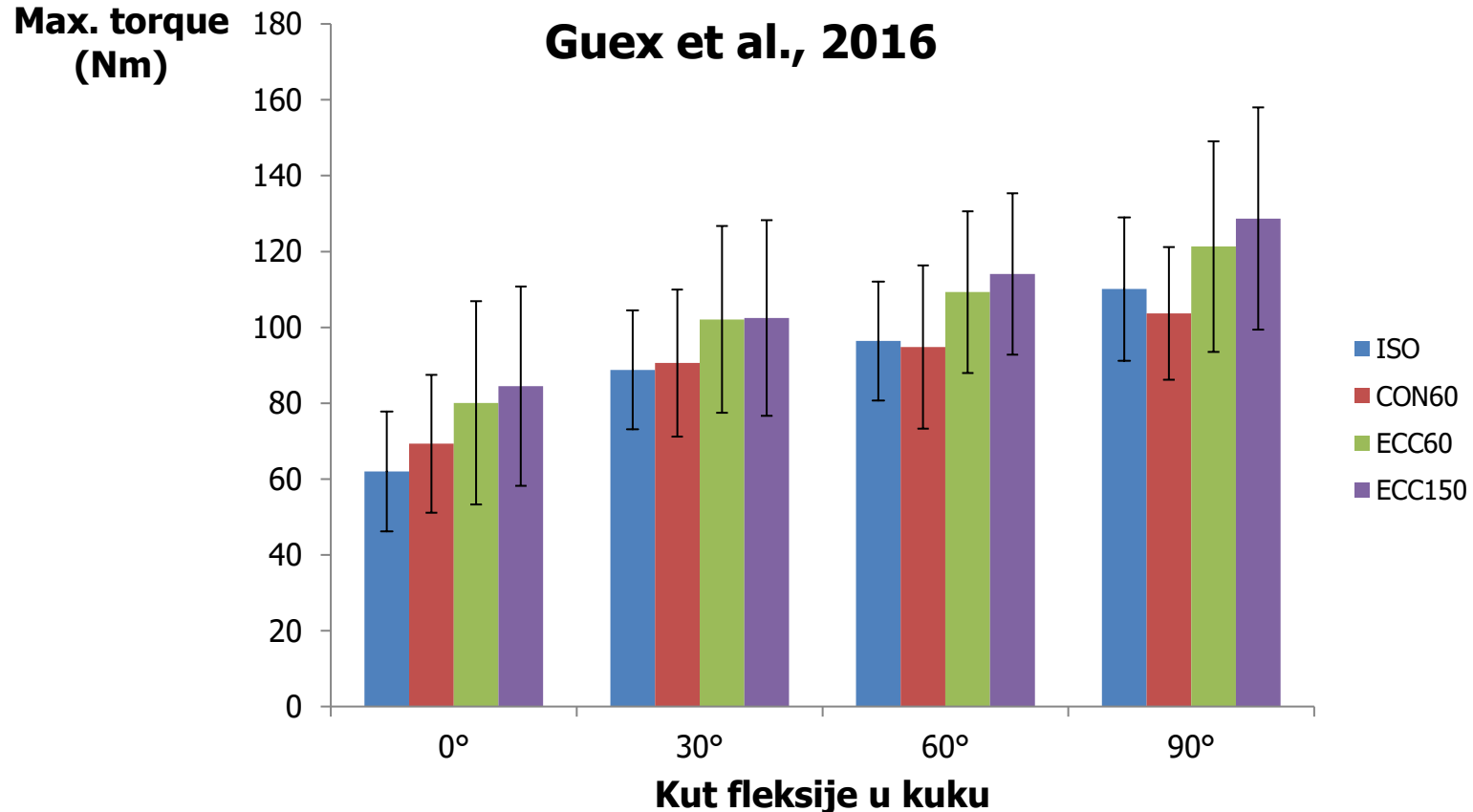
Maeo et al., 2020; Guex et al., 2016; Lunnen et al., 1981; Mohamed et al., 2002; Worrel et al., 1989)

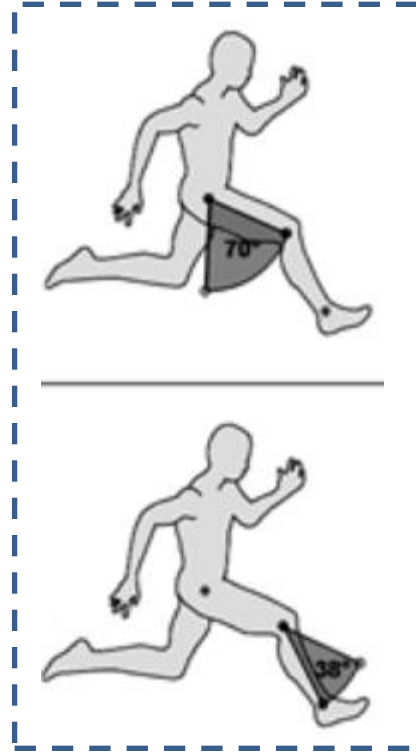
Maximal torque (N/m)

Smidt, 1973



Utjecaj fleksije kuka na razvoj sile





Elongacijski stres = kut u zglobu kuka – kut u zglobu koljena

Kod Nordica nema elongacijskog stresa



Pa ipak...

- Učinkovitost je neupitna, neovisno o činjenici što je vrlo mali broj istraživanja usporedio Nordic sa drugim podjednako intenzivnim vježbama i režimima kontrakcije (Goode et al., 2015; Petersen et al., 2011; Van Dyk et al., 2019)
- Problematičan je i uzorak, budući da pojedinci koji nikad nisu ciljano trenirali stražnje lože mogu imati benefita od svega što direktno pogađa stražnju ložu
- Izvedba Nordica u dobroj mjeri ovisi o tjelesnoj masi (Suarez-Arrones et al., 2019)
- Timmins et al., 2021 – NHE i Flywheel (hip-dominant) pokazuju sličnu učinkovitost kod povećanja FL i ECC jakosti



Efikasnost treninga na većim duljinama mišića

- Maksimiziranje aktivne sile i pasivne napetosti koja pojačava anaboličke signale (Krüger & Kötter, 2016; Rindom et al., 2019; Gerard et al., 2013)
- Povećana potreba za kisikom (Oranchuk et al., 2019)
- „*Stretch-mediated hypertrophy*”
- Guex et al., 2016 predlažu testiranje u sličnoj poziciji jer se postižu veće sile, elongacijski stres i H:Q omjer (Worrell et al., 1989)
- Regionalne razlike u hipertrofiji poslije ECC i KONC

↑ FL – je li tip kontrakcije odgovoran?

- Veće povećanje FL kod ECC u odnosu na CONC, ali apsolutni intenzitet je bio veći kod ECC (Franchi et al., 2014, 2015)
- Povećanje uslijed ekscentričnog treninga (Potier et al., 2009; Timmins et al., 2016; Bourne et al., 2018; Franchi et al., 2014, 2015; Reeves et al., 2009)
- I koncentrični/izometrijski trening može povećati (Blazevich et al., 2007; Franchi et al., 2014; Noorkõiv et al., 2014)
- Neki autori naglašavaju duljinu mišića (Blazevich et al., 2007; Guex et al., 2016; McMahon et al., 2014), a neki brzinu izvođenja (Sharifnezhad et al., 2014)

↑ Penacijskog kuta

- ECC većinom smanjuje (Potier et al., 2009; Timmins et al., 2016), ali može i povećati (Blazevich et al., 2007; Duclay et al., 2009)
- KONC dovodi do najvećih povećanja (Franchi et al., 2014; Franchi et al., 2015; Reeves et al., 2009)
- Duljina mišića pri kojoj se trenira možda ima utjecaja (Guex et al., 2016; McMahon et al., 2014)

Krivulja sile i brzine

- Ne možemo istom brzinom dignuti veliki i mali teret
- Brzina **skraćivanja** se smanjuje s povećanjem opterećenja – sila se smanjuje s povećanjem brzine
- Što je veći teret/opterećenje, to je manja brzina skraćivanja
- Brzina **izduljivanja** se povećava sa povećanjem tereta – sila se povećava s povećanjem brzine izduljivanja

Ekscetrično

Koncetrično

Sila

0

m/s

Mišić se izduljuje,
pohranjuje energiju
uzrokovanu
opterećenjem

Izometrično

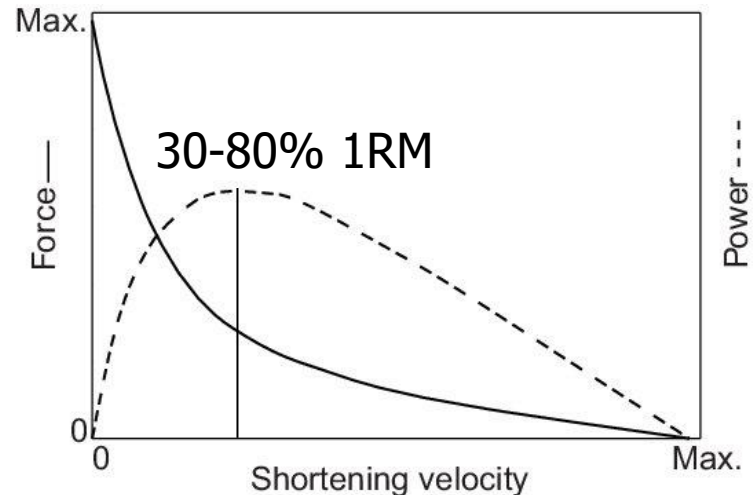
Mišić se skraćuje
protiv opterećenja

Brzina izduljivanja

Brzina skraćivanja

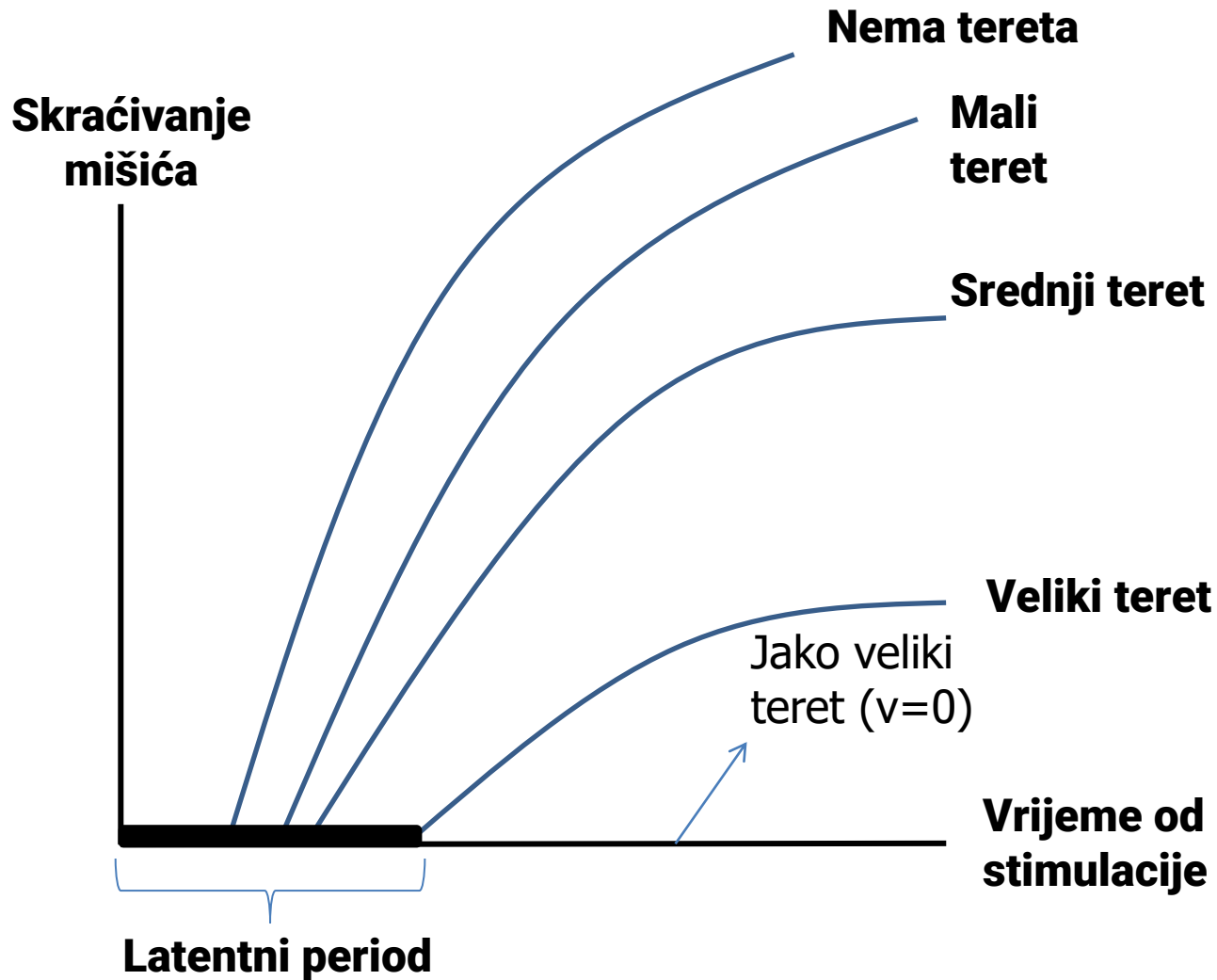
Snaga - brzina

- $P = F \times V = \frac{W}{t}$
- Možemo je povećati ili povećanjem otpora ili povećanjem brzine



Ipak...

- Brzina skraćivanja cijele MTU mora biti visoka
- Iz tog razloga mišićna vlakna vjerojatno ostaju izometrijski kontrahirana, jer u protivnom može doći do potencijalno opasne ekscentrične kontrakcije mišićnih vlakana i ozljede (Lieber et al., 1991)
- Skraćivanje (i kasnije izduljivanje) se dominantno događa u serijalnoj elastičnoj komponenti – ona je **generator brzine** (Fukashiro et al., 2006)
- AGR i serijalna elastična komponenta „štite“ od ekscentrične kontrakcije samih mišićnih vlakana



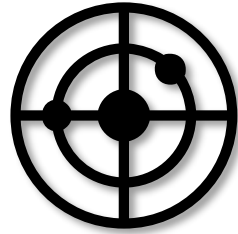


4. Viskoelastičnost mekih tkiva

 [https://www.patreon.com/
posts/51131158](https://www.patreon.com/posts/51131158)



Tetive 101



5. Specifičnost režima kontrakcije

Ekscentrična mišićna akcija

Enoka, 1996



Ekscentrično – dalje od centra

$$\frac{\text{Mišićna sila}}{\text{Opterećenje}} = 1 \text{ (izometrija)}$$
$$> 1 \text{ (koncentrija)}$$
$$< 1 \text{ (ekscentrija)}$$

- Aktivno izduljivanje – proizvodnja sile prilikom izduljivanja
- Mišić apsorbira energiju i obavlja se negativni rad u **zglobu**

Obilježja ekscentrije – *zoom out*

- 2 „smjera“ energije:
 - Vanjske sile (prema mišiću)
 - Unutarnje sile kojima se mišić odupire istezanju (od mišića)
- Negativni rad u zglobu može se vršiti i u slučaju izometrijske i koncentrične kontrakcije mišićnih vlakana zbog serijalne elastične komponente



Obilježja ekscentrije – *zoom in*

- Postizanje znatno veće sile u odnosu na ISO i CONC
- Manja EMG aktivnost mišića – veći stres po jedinici površine CSA -> DOMS
- Submaksimalna aktivacija – „kočnica”
 - Izolirana vlakna mogu proizvesti 70-100% veće sile od ISO u odnosu na mjerenje u stvarnim situacijama gdje je razlika mala (Duchateau & Enoka, 2008)
- DOMS selektivno pogađa brza mišićna vlakna
- Residual force enhancement
- Dynamic force enhancement
- Veća proizvodnja topline
- Manji utrošak energije
- Veći doprinos SEC-a
- Manje izražen pad sile kod ponavljanih kontrakcija
- Različiti živčani mehanizmi od ISO i CONC
- Pomicanje krivulje **duljina-sila** i **sila-brzina** udesno
- Najveća povećanja FL i distalna hipertrofija
- Longitudinalni rast mišića (dodavanje sarkomera u seriji)
- Veća proizvodnja topline u odnosu na ISO i CONC



Promjena udaljenosti polazišta i hvatišta – ekscentrična kontrakcija?

- Ako MTU promatramo u cjelini bez da se osvrnemo na pojedinačne komponente – definicija je točna
- Potrebno je sagledati situaciju sa stajališta mišićnih vlakana
- Sama promjena duljine MTU nije indikator ekscentrične kontrakcije mišićnih vlakana
- Što onda ekscentrične kontrakcije treniraju – [serijalnu elastičnu komponentu?](#)
- AGR, SEC i funkcioniranje dvozglobnih mišića ukazuje da se ne radi uvijek o znatnoj ekscentričnoj kontrakciji samih mišićnih vlakana



Obilježja i funkcije dvozglobnih mišića

- Manje *bulk-a* na distalnim dijelovima (\downarrow *mass moment of inertia*), veliki PCSA, duga tetiva za *stretch-recoil*
- Tijekom negativnog rada u zglobu, jednozglobni mišići rade ekscentrično
- Dvozglobni pak ovise o susjednim zglobovima i ne možemo biti sigurni rade li ekscentrično
- **Lombardov paradoks** – rectus femoris i stražnja loža
- Funkcija dvozglobnih mišića jest transfer energije među segmentima – **tendon action** (Prilutsky i Zatsiorsky, 1994)
- Ponašaju se kao užad i pogrešno je zaključiti da funkcioniraju ekscentrično

Važnost lateralne transmisije kod dvozgljobnih mišića

- Štednja energije – evolucijski uvjetovano
- Lateralna transmisija sile je neophodna ukoliko je duljina mišića znatno duža od samih vlakana (non-tapering vlakna), jer je vlakno sve tanje kako se bliži kraju
- Serijalni prijenos bi vjerojatno doveo do štete jer bi se sila koncentrirala na tankom prijelazu/spoju
- Kod dugih mišića lateralna transmisija povećava brzinu prijenosa sile, jer bi inače puno vremena trebalo da dođe do drugog kraja vlakna

Koncentrična mišićna akcija



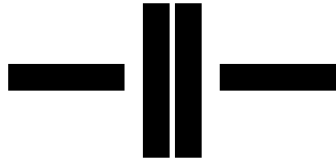
Enoka, 1996

Koncentrično – prema centru

$$\frac{\text{Mišićna sila}}{\text{Opterećenje}} = 1 \text{ (izometrija)}$$
$$> 1 \text{ (koncentrija)}$$
$$< 1 \text{ (ekscentrija)}$$

- Skraćivanje mišića
- Pozitivni rad
- Proizvodnja mehaničke energije
- Povećanje penacijskog kuta i dodavanje sarkomera u paraleli
- Nije jasno je li ECC bolji CONC po pitanju hipertrofije, oba režima do hipertrofije dovode drukčijim mehanizmima

Izometrijska mišićna akcija



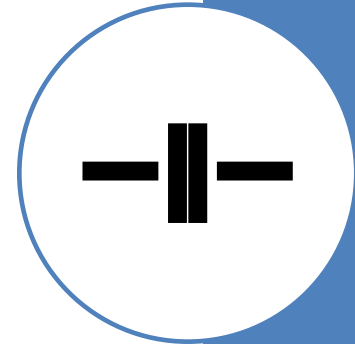
- Nema vidljivog vanjskog pokreta u zglobu (promjene duljine hvatišta i polazišta)

Enoka, 1996

$$\frac{\text{Mišićna sila}}{\text{Opterećenje}} = 1 \text{ (izometrija)}$$
$$> 1 \text{ (koncentrija)}$$
$$< 1 \text{ (ekscentrija)}$$

Obilježja izometrije


- Veća sila od CONC, manja od ECC
- Veća EMG aktivnost od ECC i CONC (*stiffening the CE?*)
- Dovodi do većeg umora od CONC i ECC (zbog okluzije, ishemije i unutarmišićnog tlaka)
- Znatno unaprjeđuje hipertrofiju i živčano-mišićnu izvedbu – ovisno o duljini mišića na kojoj se trenira, intenzitetu i trajanju ponavljanja (Oranchuk et al., 2019)
- Veći unutarmišićni tlak (koji je obično bolji prediktor sile od EMG-a)
- [Vlakna vjerojatno ostaju izometrijski kontrahirana](#) – specifičnost?
- Sprječavanje inhibicije (MacDonald et al., 2019)
- Podnošljivija u početnim fazama rehabilitacije
- Čini se da postoje 2 tipa izometrijskih kontrakcija
 1. Holding Isometric Muscle Action (HIMA) – **position task**
 2. Pushing Isometric Muscle Action (PIMA) – **force task**



RESEARCH ARTICLE Open Access


Are there two forms of isometric muscle action? Results of the experimental study support a distinction between a holding and a pushing isometric muscle function

Laura V. Schaefer¹ and Frank N. Witmann¹



Holding isometric	Pushing isometric
✓ Zadržavanje pozicije (position task)	✓ Zadržavanje sile (force task)
✓ Sličnije ekscentričnoj kontrakciji	✓ Sličnije koncentričnoj kontrakciji
✓ Teže zadržavanje iste pozicije	✓ Lakše zadržavanje iste pozicije

Scientific Basis for Eccentric Quasi-Isometric Resistance Training: A Narrative Review

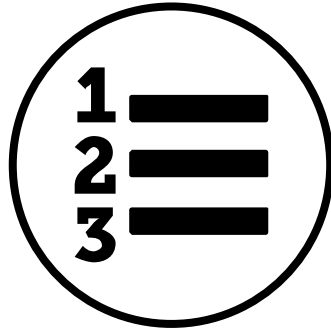
Oranchuk, Dustin J.¹; Storey, Adam G.¹; Nelson, André R.²; Cronin, John B.^{1,3} [Author Information](#) 

Journal of Strength and Conditioning Research: October 2019 - Volume 33 - Issue 10 - p 2846-2859

doi: 10.1519/JSC.0000000000003291

What about Quasi- Isometrics?

„Based on the relevant literature, EQIs may provide a practical means of increasing total volume, metabolite build-up, and hormonal signaling factors while safely enduring large quantities of mechanical tension with low levels of peak torque. Conversely, EQI contractions likely hold little neuromuscular specificity to high velocity or power movements. Therefore, EQI training seems to be effective for improving musculotendinous morphological and performance variables with low injury risk. Although speculative due to the limited specific literature, available evidence suggests a case for future experimentation.“



6. Smjernice pri dizajniranju vježbi

Selektivna aktivacija

- Hip-dominant vježbe (npr. 45° hip extension) aktiviraju više lateralni dio stražnje lože (BF)
- Knee-dominant vježbe (npr. Nordic) više aktiviraju medijalne dijelova (ST i SM)

Original article

Impact of exercise selection on hamstring muscle activation

Matthew N Bourne^{1, 2, 3}, Morgan D Williams⁴, David A Opar⁵, Aiman Al Najjar⁶, Graham K Kerr^{1, 2}, Anthony J Shield^{1, 2}
Correspondence to Dr Anthony Shield, School of Exercise and Nutrition Sciences and the Institute of Health and Biomedical Innovation,
Queensland University of Technology, Victoria Park Road, Kelvin Grove, Brisbane, QLD 4059, Australia; aj.shield@qut.edu.au



MRI-Based Regional Muscle Use during Hamstring Strengthening Exercises in Elite Soccer Players

Alberto Mendez-Villanueva,^{1,*} Luis Suarez-Arrones,^{1,2} Gil Rodas,³ Rodrigo Fernandez-Gonzalo,⁴ Per Tesch,⁴ Richard Linnehan,⁵ Richard Kreidel,⁶ and Valter Di Salvo^{1,7}

		Flywheel leg curl	Nordic hamstring	Russian belt	Hip-extension conic-pulley
Biceps femoris (long head)	Proximal	+		+	++
	Medial	++		+	
	Distal	++	+	+	
Biceps femoris (short head)	Proximal	++	++	+	
	Medial	++	++		
	Distal	++	++	+	
Semitendinosus	Proximal	++	++	++	+
	Medial	++	++	++	++
	Distal	++	++	+	
Semimembranosus	Proximal			++	
	Medial	++		+	
	Distal			+	



OPEN ACCESS

Biceps femoris and semitendinosus—teammates or competitors? New insights into hamstring injury mechanisms in male football players: a muscle functional MRI study

Joke Schuermans,¹ Damien Van Tiggelen,¹ Lieven Danneels,¹ Erik Witvrouw^{1,2}

- U normalnim uvjetima prisutan je asimetričan obrazac aktivacije gdje je ST metabolički najaktivniji
- Ozlijeđeni ispitanici pokazuju nešto više simetričan obrazac, sa znatnim povećanjem aktivnosti BFLh (koji je najčešće ozlijeđen)
- BFLh nije dizajniran da bude najaktivniji, već ST koji ima znatno veću duljinu mišićnih vlakana i otpornost na elongacijski stres
- Čini se da veću pozornost treba obratiti na medijalni dio stražnje lože (ST) – jedan od razloga učinkovitosti Nordica u sprječavanju recidiva?

Ward et al., 2009

Muscle and the number of studied specimens	Muscle length (ML), cm	Fiber length (FL), cm	Pennation angle, °	Physiological cross-sectional area, cm ²
Gracilis, <i>n</i> = 19	28.69 ± 3.29	22.78 ± 4.38	8.2 ± 2.5	2.2 ± 0.8
Biceps femoris long head, <i>n</i> = 18	34.73 ± 3.65	9.76 ± 2.62	11.6 ± 5.5	11.3 ± 4.8
Semitendinosus, <i>n</i> = 19	29.67 ± 3.86	19.30 ± 4.12	12.9 ± 4.9	4.8 ± 2.0
Semimembranosus, <i>n</i> = 19	29.34 ± 3.42	6.90 ± 1.83	15.1 ± 3.4	18.4 ± 7.5
Biceps brachii short head, <i>n</i> = 8	23.4 ± 4.2	14.5 ± 3.2	0	2.1 ± 0.6
Biceps brachii long head, <i>n</i> = 6	21.6 ± 4.5	12.8 ± 3.2	0	2.5 ± 1.1
Triceps brachii long head, <i>n</i> = 8	29.1 ± 5.2	9.3 ± 2.8	8.0 ± 2.0	10.5 ± 5.8

BFlh kompenzira za ST?

- Presadak kod operacija ACL-a se ponekad uzme od ST, što može ostaviti posljedice u smislu povećane aktivacije lateralnih mišića (BF) i atrofije medijalnih mišića (Tampere et al., 2021)
- Medijalni mišići su od posebne važnosti – unutarnja rotacija tibije i „prevencija“ valgusa (Draganich et al., 1990)
- Slabost unutarnje rotacije tibije + povećana vanjska rotacija tibije i relativna unutarnja rotacija femura = valgus (Buckthorpe et al., 2021)
- Čak i preventivni programi usmjereni na ACL dovode do selektivnog povećanja aktivnosti ST, što daje naslutiti da je on ključan mišić (Zebis et al., 2008)

Manipulacija položajem tijela za selektivnu aktivaciju

- Manipulacija rotacijom tibije – okretanjem stopala van/unutra
 - Unutarnja rotacija – medijalni
 - Vanjska rotacija – lateralni
- Manipulacija rotacijom zdjelice
- Trčanje u zavojima (u oba smjera)

Funkcija stražnje lože u trčanju

- Mišići stražnje lože su iznimno aktivni, proizvode visoke sile pri visokim brzinama i dolazi do njihove elongacije zbog velikih sila
- Usporavaju ekstenziju koljena i potpomažu ekstenziju kuka
- Veću ulogu imaju u ekstenziji kukova nego u fleksiji koljena (Zatsiorsky i Prilutsky, 2012)
- Ključna komponenta u stvaranju horizontalne sile (Morin et al., 2015; Dorn et al., 2012)

(Vanjske) sile koje djeluju na stražnju ložu

			HSR	Sprint
Brzina	3,49 m/s	5,17 m/s	6,96 m/s	8,99 m/s
Sile koje djeluju na stražnju ložu	2,10 BW	2,66 BW	4,61 BW	8,95 BW

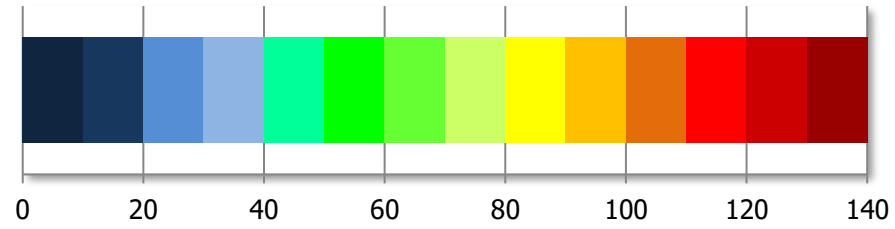
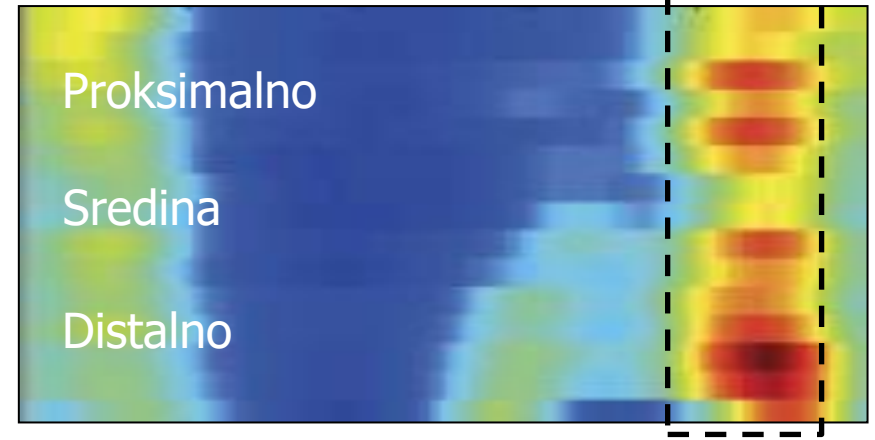
Hegyí, A., Gonçalves, B., Finni Juutinen, T., & Cronin, N. (2019). Individual Region- and Muscle-specific Hamstring Activity at Different Running Speeds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51 (11), 2274-2285. doi:10.1249/MSS.0000000000002060

Do 140% MVC
izmjereno pri 6,8 m/s
~75% max. brzine



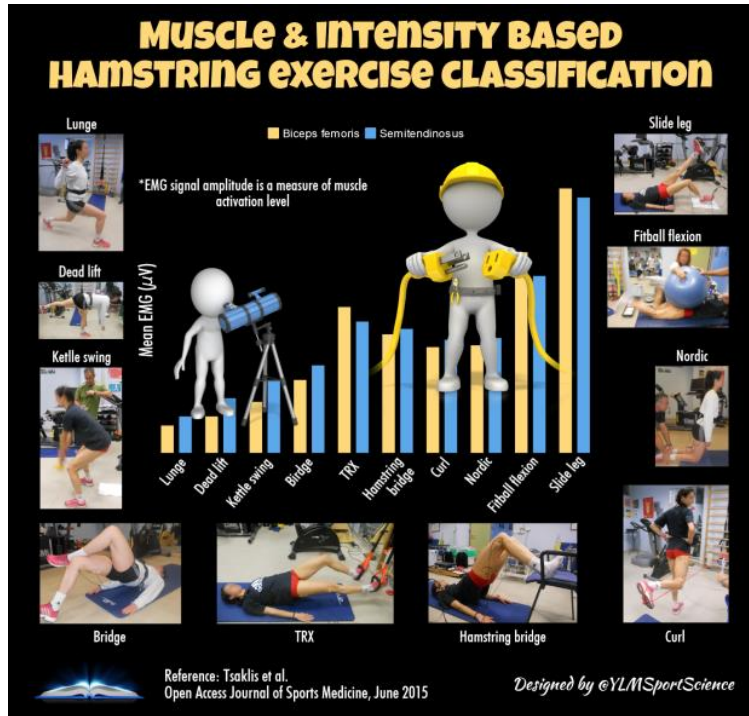
Gait cycle (%)

0 20 40 60 80 100

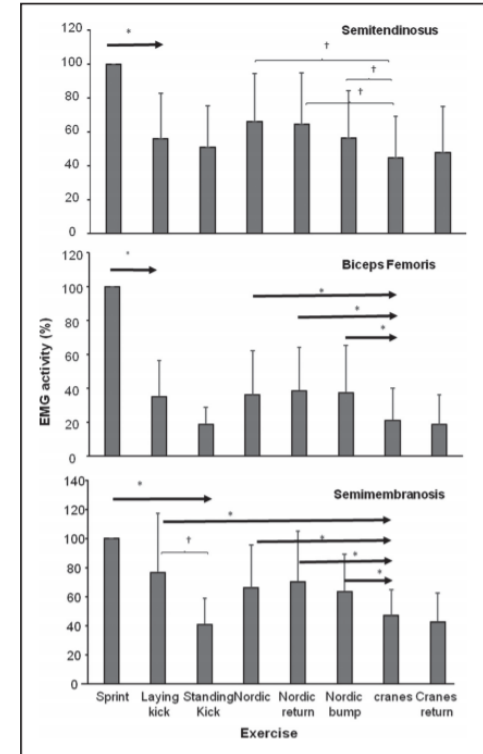


BF_{Lh} EMG activity (% MVIC)

Problem svih vježbi - intenzitet



<https://ylmsportscience.com/2015/07/08/prevention-injury-muscle-intensity-based-hamstring-exercise-classification-by-ylmsportscience/>



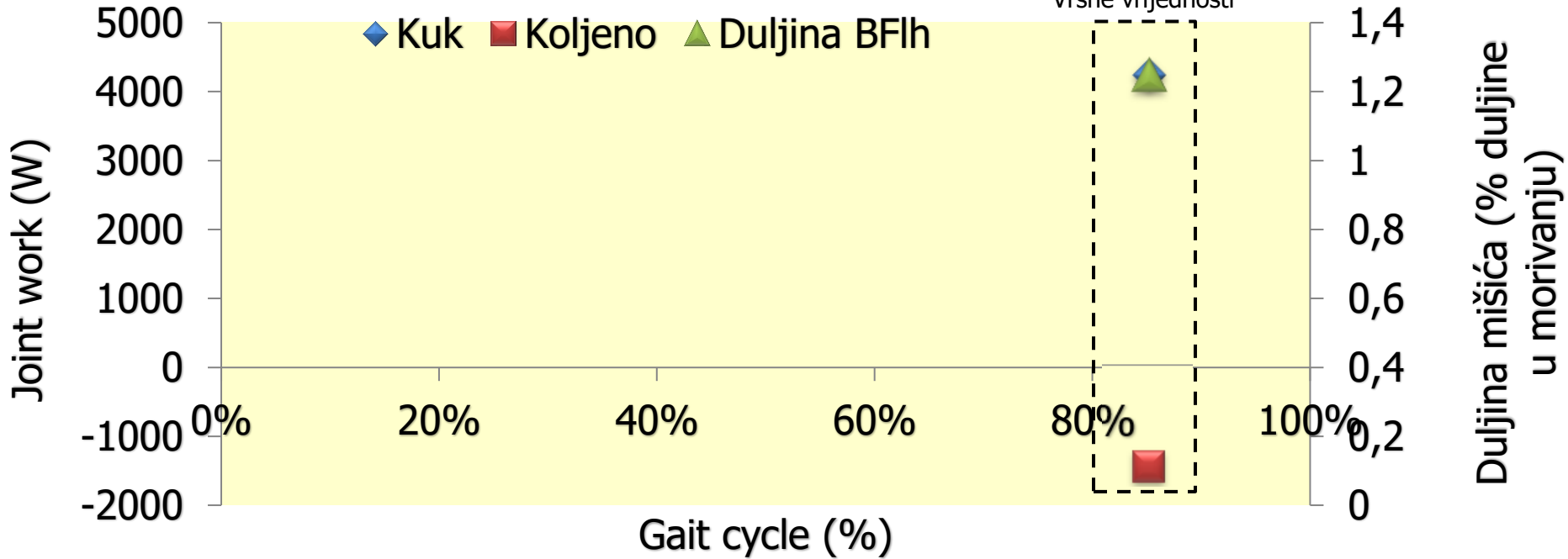
Tsaklis et al., 2015

van den Tilaar et al., 2017

Zhong et al., 2017
Nagano et al., 2014



Vršne vrijednosti



Klasifikacija vježbi



Sila



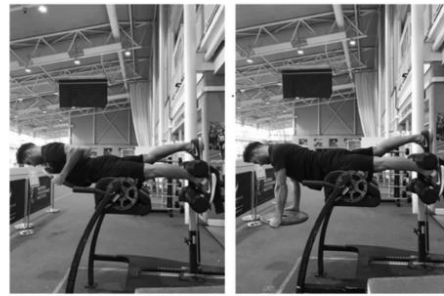
Izdržljivost



Elongacijski
stres



Brzina



- Kinematička i EMG analiza L-protokola (Askling et al, 2013) pokazuje da **glider** vježba aktivira stražnju ložu do 60% MVC u sprint-specifičnim kutevima ($\approx 62^\circ$ fleksije kuka i 23° fleksije koljena) (Severini et al., 2018; Thelen et al., 2005)
- Nordijski pregib traje u prosjeku 2,6 sekundi i EMG stražnje lože se smanjuje kako dolazimo do pune ekstenzije koljena (DiTroilo et al., 2013)

Komponente sile koje treba adresirati

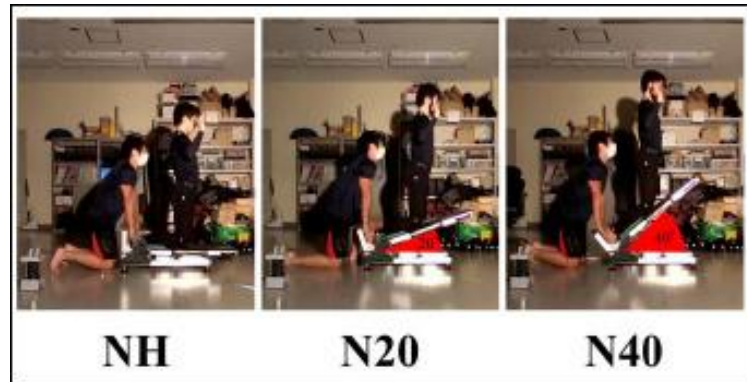


Kako riješiti „kinematički problem“ Nordica?

> J Sports Sci Med. 2021 Mar 5;20(2):216-221. doi: 10.52082/jssm.2021.216. eCollection 2021 Jun.

Effect of Different Slopes of the Lower Leg during the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Electromyography Activity

Toshiaki Soga¹, Daichi Nishiumi¹, Atsuya Furusho¹, Kei Akiyama², Norikazu Hirose^{1, 2}



- Veći nagib dovodi do *break point-a* pri manjim stupnjevima fleksije (većim duljinama mišića) i veće EMG aktivnosti stražnje lože gdje bi obično bila manja
- Pitanje je smanjuje li to sile na stražnju ložu

Ili samo sprint?

RESEARCH ARTICLE

Sprint versus isolated eccentric training:
Comparative effects on hamstring
architecture and performance in soccer
players

Jordan Mendiguchia¹, Filipe Conceição^{2,3}, Pascal Edouard^{4,5,6}, Marco Fonseca^{2,3,7},
Rogerio Pereira⁸, Hernani Lopes⁹, Jean-Benoît Morin¹⁰, Pedro Jiménez-Reyes^{11*}

“

The results suggest that sprint training was superior to NHE in order to increase BFIh fascicle length although only the sprint training was able to both provide a preventive stimulus (increase fascicle length) and at the same time improve both sprint performance and mechanics. Further studies with advanced imaging techniques are needed to confirm the validity of the findings.

MENDIGUCHIA | SUR., 2020

ILI SAMO
SPRINT?



Koliko sprinta?

- Bucheit et al., 2020 pokazuju da igrači PSG-a postižu u prosjeku 1-3 sprinta >90% maks. brzine
- Važnost kompenzacijskih sprinterskih treninga za igrače koji nisu u prvoj postavi
- Redovito postizanje $\geq 95\%$ maks.brzine ima protektivne učinke od svih ozljeda donjih udova (Malone et al., 2017)
- McGrath et al., 2020 – izloženost sprintu i ekscentrična jakost objašnjavaju $\approx 90\%$ varijance duljine mišićnih vlakana (FL)



Anterior pelvic tilt (APT) kao adaptacija na zahtjeve sprinta?

Training-induced changes in anterior pelvic tilt: potential implications for hamstring strain injuries management

Jurdan Mendiguchia , Angel Gonzalez De la Flor , Alberto Mendez-Villanueva , Jean-Benoit Morin , Pascal Edouard & Mirian Aranzazu Garrues

Table 1. Description of multimodal intervention programme.

CONTENT	PHASE I: week 1–3, session 1–9	PHASE II: week 4–6, session 10–18
MANUAL THERAPY	Lumbar Z-Joint mobilization Lumbar soft tissue massage Latissimus dorsi release	Lumbar Z-Joint mobilization Lumbar soft tissue massage Latissimus dorsi release
MOBILITY	Hip flexor flexibility with retroversion 4 reps x 15" Hamstring wall flexibility 4 reps x 15" Rock back with retroversion (push wall) 2 x 8 reps (5") Cat-camel (retroversion emphasized) 2 x 10 reps Lower back + adductor stretch 4 reps x 15" Thoracic spine open book 2 x 8 reps Thoracic extension roller 2 x 12 reps TRX Overhead squat 6 reps (deep breaths) Breathing in lumbar flexion 6 reps (deep breaths) Standing glute squeeze 2 reps x 20" (On-Off)	Hip flexor flexibility + pull down 4 reps x 15" Hamstring dynamic mobility + contralateral psoas flexibility 2 x 6 reps Standing W shoulder flexion (with retroversion) 2 x 8 reps Squat Rock 3 x 8 reps Lower back + adductor stretch 4 reps x 15" Half-Kneeling Thoracic spine rotation 2 x 8 reps Thoracic extension Roller 2 x 12 reps TRX Overhead squat 6 reps (deep breaths)
SELF-MASSAGE	latissimus dorsi foam roller 3 reps x 20" Lumbar foam roller 3 reps x 20" Quadriceps foam roller 3 reps x 20" Iliotibial band foam roller 3 reps x 20"	latissimus dorsi foam roller 3 reps x 20" Lumbar foam roller 3 reps x 20" Quadriceps foam roller 3 reps x 20" Iliotibial band foam roller 3 reps x 20"
GLUTEUS MAXIMUS STRENGTH	Glute Bridge (50% BW) 3 x 6 reps Cook hip lift 2 x 6 reps Kneeling banded bridge 2 x 8 reps (5")	Hip thrust (70% BW) 3 x 6 reps Pull trough banded 3 x 6 (5") reps Squat + hip banded 3 x 5 reps Conventional deadlift (40% BW) 3 x 6 reps
HAMSTRING STRENGTH	Conventional deadlift (30% BW) 3 x 6 reps Elevated Hamstring Bridge (30% BW) 2 x 8 reps Abdominal crunch + retroversion 3 x 5 reps (5")	SL deadlift (10% BW) 3 x 6 reps Reverse Crunch with medicine ball 3 x 5 reps Dead bug w/medicine ball and band 3 x 6 reps Scissors 3 x 6 reps
LUMBOPELVIC CONTROL	Long lever prone plank 2 x 8 reps (5") Reverse crunch 3 x 5 reps Dead bug wall press 3 x 5 reps ASLR + pull down 2 x 8 reps Farmer carry 2 x 4 reps (10 m) Isometric abdominal "V" hold 2 x 4 (5") Roll out with fitball 2 x 6 reps	Lunge + Palloff Press with hip flexion 3x6 reps (3") March technique + medicine ball rotation 5 reps x 10 m Overhead stick march 5 reps x 5m Backward resisted walking 2 x 5 reps March technique + barbell rotation 5 reps x 10m Extensor-focused march 2 x 5 reps Flexor-focused march 2 x 5 reps Palloff press 2 x 8 reps (5")

reps = repetitions; " = seconds, BW = body weight; SL = single Leg

- APT se može reducirati određenim protokolima usmjerenim na lumbalno-zdjeličnu regiju (Mendiguchia et al., 2020)
- Povećan APT je obično prisutan kod sprintera i vjerojatno je posljedica agresivne ekstenzije kukova
- Tijelo instinktivno zauzima poziciju iz koje najbolje proizvodi silu
- Postavlja se pitanje je li razborito i do koje mjere reducirati APT
- Logično je da je kontrola lumbalno-zdjelične pozicije od velike važnosti unatoč malom broju istraživanja (Schuermans et al., 2017a, 2017b; Sherry i Best, 2004)

Što se čini važno?



Izometrija

Specifičnost, otpornost na umor, sprječavanje inhibicije mišića



Tehnika trčanja

Overstriding (prevelika duljina koraka)



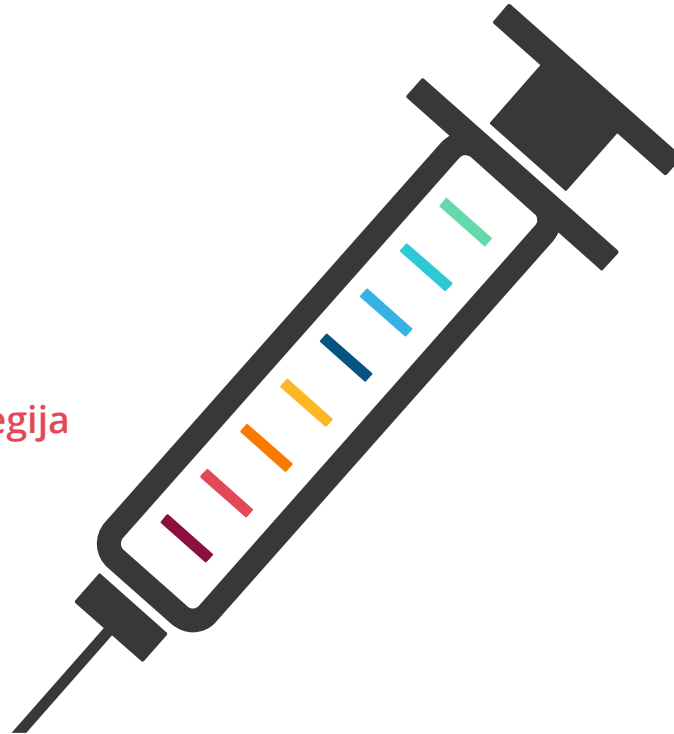
Lumbalno-zdjelična regija

Adresirati kontrolu nagiba zdjelice (spriječiti pretjerani prednji nagib)



Sprint

Minimalno 2 puta tjedno >90% maksimalne brzine (ovisno o sportu i poziciji igrača)



Ekscentrija

LONG AND STRONG
Fascicle length, utjecaj na krivulju sila-duljina/sila-brzina



Različite brzine

Velike brzine za RFD, male brzine i izometrija



Multiplanarno

Uvažavanje rotacijskih funkcija pojedinih mišića



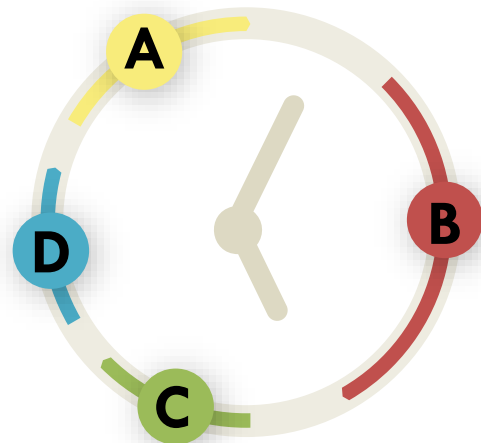
Specifičnost

Kinematička i kinetička (ako je uopće moguće)



Vrijeme izvođenja?

- Izvođenje Nordica prije i poslije nogometnog treninga dovodi do sličnih povećanja FL-a, dok je utjecaj na arhitekturu bolji kad se Nordic izvodi prije treninga (Lovell et al., 2018)
 - Hipertrofija izraženija kad se Nordic izvodi u uvjetima umora
- Izvođenje Nordica prije treninga smanjuje ekscentričnu jakost (pogotovo pri velikim/sprint-specifičnim duljinama mišića, ali ponešto smanjuje opadanje brzine sprinta) (Lovell et al., 2016)
- Zbog svega navedenog se preporuča izvođenje treninga jakosti poslije treninga (Small et al., 2009)



Važnost ključnih dionika i *buy in-a*

Original article

Evidence-based hamstring injury prevention is not adopted by the majority of Champions League or Norwegian Premier League football teams: the Nordic Hamstring survey

Roald Bahr^{1, 2}, Kristian Thorborg^{3, 4}, Jan Ekstrand⁵

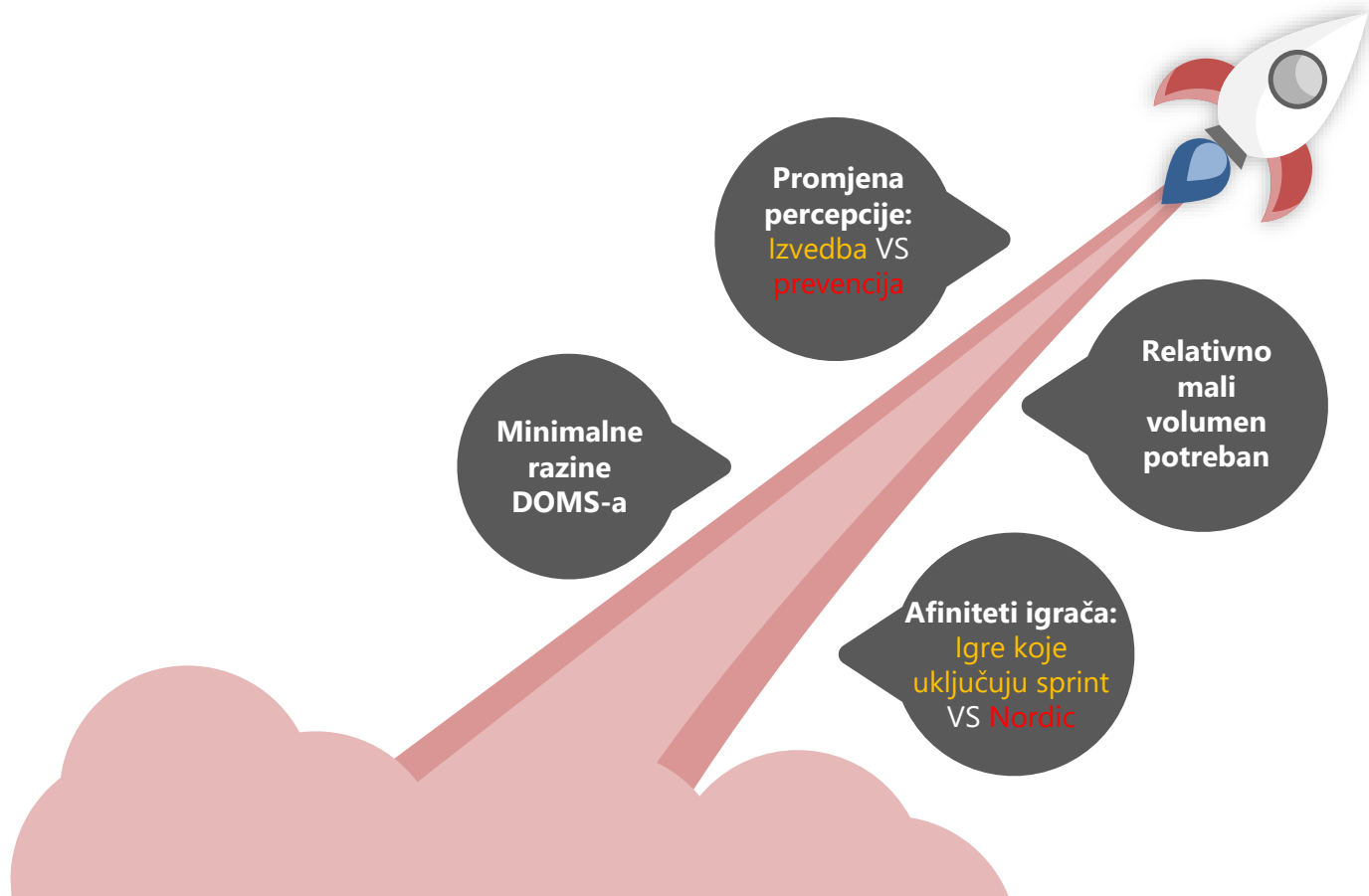
Correspondence to Professor Roald Bahr, Department of Sports Medicine, Oslo Sports Trauma Research Center, Norwegian School of Sport Sciences, PB 4014 Ullevål Stadion, Oslo 0806, Norway; roald@nih.no



Unatoč učinkovitosti NHE, svega 11% elitnih europskih klubova u potpunosti provodi NHE program.



Kako osigurati pridržavanje?



Strength

- Identificirati stavke koje štite pojedinog igrača – **prepoznati i održavati njihove „jače” strane**



Weakness

- **Identificirati deficite kod pojedinca** (ekscentrična jakost, izdržljivost, ukupno opterećenje, volumen sprints)



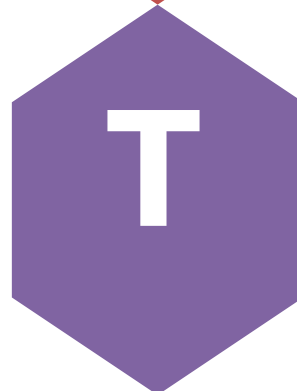
Opportunities

- Iskoristiti svaku priliku za preventivne intervencije



Threats

- Smanjena ekscentrična jakost
- Neadekvatna izdržljivost (<25 [Single leg hamstring bridge](#))
- Pozitivan [Askling H-test](#)



Redukcija
ozljeda

Izloženost

Pridržavanje

Holistički pristup

Literatura

•••• BELL 4:21 PM 22%

Nordics
alone
probably
won't cut it