



Brina Oblak,
Žiga Kozinc

Spremembe morfoloških in arhitekturnih značilnosti zadnjih stegenskih mišic po vadbeni intervenciji

Izvleček

Poškodba zadnjih stegenskih mišic (ZSM) je med najpogostejšimi v športu. Na dovzetnost za te poškodbe med drugim vplivajo arhitekturne značilnosti mišice, med katere spadajo dolžina in penacijski kot mišičnih fasciklov ter prečni presek, debelina in volumen mišice. Te značilnosti je mogoče spremeniti z različnimi dražljaji, vključno z vadbo proti uporu. Namen sistematičnega pregleda je bil proučiti in predstaviti razpoložljivo literaturo o vplivu različnih vadbenih intervencij na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM. Literaturo smo iskali aprila 2024 po podatkovnih zbirkah PubMed, Web of Science, Cochrane library in Scopus. Kakovost izbranih virov smo ocenili z lestvico PEDro. V pregled smo vključili 14 raziskav s primerjalno ali kontrolno skupino, ki so preučevale vpliv vadbenih intervencij na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM. Kakovost vključenih študij je segala od slabe do dobre, pri čemer je bila ena raziskava slabe kakovosti, sedem jih je bilo srednje kakovosti in šest dobre kakovosti. V 12 od 14 raziskav so avtorji ugotovili, da ekscentrična vadba učinkovito podaljša mišične fascikle ZSM. Štiri študije so pokazale, da prekinitev vadbe povzroči ponovno skrajšanje fasciklov dolge glave dvoglave stegenske mišice (BFlh). V devetih od 13 raziskav se je penacijski kot BFlh zmanjšal, v eni pa so poročali o povečanju. Po prekinitvi vadbe se pri dveh raziskavah penacijski kot ni spremenil, pri eni so zaznali zmanjšanje in pri eni povečanje. V sedmih izmed 14 raziskav so poročali o povečanju volumna, debeline ali prečnega preseka BFlh. Za določitev spremenljivk vadbe, pri katerih je ta najučinkovitejša, so potrebne nadaljnje raziskave.

Ključne besede: vadba proti uporu, dolžina mišičnih fasciklov, penacijski kot, debelina, volumen



Changes in the morphological and architectural characteristics of the hamstrings muscles after exercise intervention

Abstract

Hamstring injury is one of the most common injuries in sports. Susceptibility to these injuries is influenced by the muscle's architectural characteristics, including fascicle length and pennation angle, muscle thickness, volume and cross-sectional area. These characteristics can be modified by various stimuli, including resistance training. This systematic review aimed to examine and present available literature on the effects of different exercise interventions on architectural and morphological characteristics of the hamstring muscles. The search was conducted in PubMed, Web of Science, Cochrane Library and Scopus in April 2024. Quality of the literature was assessed using the PEDro scale. We included 14 studies with comparative or control groups, which investigated the effects of exercise interventions on architectural and morphological characteristics of the hamstring muscles. The quality of the included studies ranged from poor to good; one study was of poor, seven were of moderate, and six were of good quality. In 12 out of 14 studies, eccentric exercise effectively lengthened the muscle fascicles of the hamstrings. Four studies found that a detraining period caused re-shortening of the biceps femoris long head (BFlh) fascicles. In nine out of 13 studies, pennation angle of the BFlh decreased, while one study reported an increase. After detraining, two studies found no change in the pennation angle, one found a decrease, and one an increase. Seven out of 14 studies observed an increase in volume, thickness, or cross-sectional area of the BFlh. Further research is needed to determine the most effective training variables.

Keywords: resistance training, muscle fascicle length, pennation angle, thickness, volume

■ Uvod

Arhitekturne značilnosti mišic, med katere spadajo dolžina in penacijski kot mišičnih fasciklov ter prečni presek, debelina in volumen mišice (Timmins, Shield idr., 2016), lahko izmerimo na različne načine. Ena izmed metod je slikanje z magnetno resonanco (Timmins, Shield idr., 2016). Visoka ločljivost slik omogoča prepoznavanje lastnosti posameznih mišic, s čimer lahko določimo oziroma izračunamo morfološke parametre, kot sta volumen in prečni presek mišice (Timmins, Shield idr., 2016). Magnetna resonanca z difuznim tenzorjem pa je bila dokazana kot zanesljiva metoda za določanje dolžine fasciklov, penacijskega kota in prečnega preseka (Okamoto idr., 2010; Sinha in Sinha, 2011). Cenejša, enostavnejša in pogostejše uporabljena metoda ocenjevanja arhitekturnih značilnosti mišic je slikanje z ultrazvokom (Kwah idr., 2013; Narici, 1999). Z dvodimenzionalnim slikanjem lahko izmerimo dolžino mišičnih fasciklov, penacijski kot in debelino mišice (Blazevich idr., 2006). Dvodimenzionalni ultrazvok omogoča zajetje enojne slike in slike z razširjenim vidnim poljem (angl. *extended field of view*) (Franchi idr., 2018). Enojna slika je običajno manjša (4–6 cm) in ne omogoča zajetja celotne dolžine mišičnih fasciklov (Blazevich idr., 2006; Franchi idr., 2018). V tem primeru je potrebna ocena dolžine fasciklov z metodami ekstrapolacije različnih linearnih približkov na podlagi izmerjenih vrednosti debeline mišice in penacijskega kota (Blazevich idr., 2006; Kellis idr., 2009). Nekoliko zanesljivejše je slikanje z razširjenim vidnim poljem (Franchi idr., 2018), ki je pri dolgi glavi dvoglave stegenske mišice (angl. *biceps femoris long head* – v nadaljevanju: BFlh) pokazalo odlično ponovljivost (Seymore idr., 2017).

Poškodba zadnjih stegenskih mišic (v nadaljevanju: ZSM) je ena izmed najpogostejših pri nogometu, ragbiju, ameriškem in avstralskem nogometu ter sprintu (Biz idr., 2021; Brooks idr., 2006; Elliott idr., 2011; Kerkhoffs idr., 2013; Orchard in Seward, 2002; Timmins idr., 2015; Yeung idr., 2009), za katero je značilna zelo visoka stopnja tveganja za ponovitev poškodbe, te se pojavijo v 16–54 % primerov (Arnason idr., 2008; Ekstrand idr., 2012; Hägglund idr., 2013; J. W. Orchard idr., 2013). Izmed ZSM je najpogostejše poškodovana BFlh (Bourne idr., 2017). Poškodba pogosto nastane pri teku pri velikih hitrostih, predvsem v končni fazi zamaha, saj je takrat mišica v raztegnjenem položaju in je sočasno podvržena velikim

ekscentričnim obremenitvam (Heiderscheit idr., 2005; Schache idr., 2009). Na do- vzetnost za poškodbe med drugim vpliva- jo arhitekturne značilnosti mišice (Brockett idr., 2004). Od teh so odvisni tudi dolžina mišice, največja proizvedena sila, odnos med silami in hitrost mišične kontrakcije (Lieber in Fridén, 2000). Dolžina mišičnih fasciklov je povezana z odnosoma med silo in hitrostjo ter silo in dolžino, ki neposre- dno vplivata na funkcijo mišice (Medeiros idr., 2020).

Dokazano je bilo, da so mišični fascikli po poškodbi BFlh krajši in penacijski kot večji v primerjavi z nepoškodovano mišico (Timmins idr., 2015). To je lahko tudi eden izmed razlogov za večjo verjetnost ponovne po- škodbe pri predhodno poškodovanih mišicah (Brooks idr., 2006). To potrjuje navedba, da je bila pri profesionalnih nogometaših z mišičnimi fascikli, krajšimi od 10,56 cm, ugotovljena za približno štirikrat večja verjetnost poškodbe ZSM kot pri športnikih z daljšimi fascikli (Timmins, Bourne idr., 2016). Avtorji so poleg tega zaznali, da se je pri vsakem podaljšanju fasciklov za 0,5 cm verjetnost poškodbe zmanjšala za približno 74 %. Glavna razlaga za večje tveganje za poškodbo pri krajših mišičnih fasciklih je manjše število zaporednih sarkomer v mišičnem vlaknu (Marchiori idr., 2022). To poveča možnost, da se mišica pri velikem raztegu preobremeni in poškoduje zaradi močnih ekscentričnih kontrakcij (Marchiori idr., 2022), kakršne opazimo v končni fazi zamaha pri teku pri velikih hitrostih (Heiderscheit idr., 2010). Nasprotno, več zapore- dnih sarkomer v mišičnem vlaknu izboljša sposobnost mišice za proizvodnjo sile pri večjih dolžinah (Brockett idr., 2001).

Arhitekturne značilnosti mišice so prilago- dljive in jih je mogoče spremeniti z različnimi dražljaji (Timmins, Shield idr., 2016). Kot možnost preventive in rehabilitacije po poškodbi ZSM je med najbolj raziskovanimi pristopi ekscentrična vadba. Ta naj bi med drugim podaljšala mišične fascikle (Medeiros idr., 2020) in zmanjšala verjetnost za poškodbo (Goode idr., 2015). Pregled litera- ture iz leta 2016 je pokazal, da koncentrična vadba proti uporabi povzroči povečanje pe- nacijskega kota s hipertrofijo, medtem ko so učinki ekscentrične vadbe proti uporabi na penacijski kot bolj variabilni, in sicer se ta lahko poveča oziroma zmanjša ali pa pri njem ni sprememb (Ema idr., 2016). Pove- čanje penacijskega kota velja za strategijo varčevanja s prostorom, ki omogoča ume- stitev mišičnih vlaken z večjim premerom

v omejen prostor med aponevrozami (Ema idr., 2016). Funkcionalni pomen zmanjšanja penacijskega kota po ekscentrični vadbi pa je trenutno nejasen in zahteva nadaljnje raziskave (Marušič idr., 2020).

Vpliv ekscentrične vadbe na arhitektur- ne in morfološke značilnosti ZSM je tema čedalje več raziskav, a kljub temu na tem področju pogrešamo članek, ki bi na enem mestu povzel vplive različnih vadbениh in- tervencij. Namen našega sistematičnega pregleda je bil torej pregledati in predsta- viti razpoložljivo literaturo s področja vpliva različnih vadbениh intervencij na arhitek- turne in morfološke značilnosti ZSM.

■ Metode

Iskalna strategija

Do literature o naprednih metodah za vrednotenje morfoloških in arhitekturnih značilnosti mišic smo dostopali aprila 2024 prek elektronskih podatkovnih zbirk Pub- Med, Web of Science, Cochrane library in Scopus. Uporabili smo naslednji iskalni niz: (morpholog* OR structur* OR architecture OR fascicle length OR pennation angle OR volume OR cross-section) AND (change OR adaptation) AND hamstring AND (injury OR rehabilitation). V zbirkah Cochrane library in Scopus smo vire z iskalnim nizom iskali po naslovu, povzetku in ključnih besedah. Zadetke, pridobljene z iskalnim nizom, smo uvozili v brezplačni program Zotero (6.0.36). V programu smo odstranili dvojnike, zadet- ke pregledali na podlagi naslova in povzet- ka ter izločili neustrezne. Nato smo preverili dostopnost raziskav s celotnim besedilom in izločili tiste, do katerih ni bilo mogoče dostopati v celoti. Po pregledu raziskav z dostopnim celotnim besedilom smo na podlagi vključitvenih in izključitvenih meril izločili neustrezne.

Vključitveni in izključitveni kriteriji

Z orodjem PICOS (Methley idr., 2014) smo določili vključitvene in izključitvene krite-rije, predstavljene v Tabeli 1. Poleg tega smo se omejili na literaturo, objavljeno v zadnjih desetih letih.

Ocena kakovosti raziskav

Metodološko kakovost raziskav smo ocenili z lestvico PEDro. S to smo jim dodelili oce- no 1–10, pri čemer ocene 1–3 predstavljajo slabo kakovost, 4 in 5 pomenita srednjo ka- kovost, raziskave, ocenjene s 6–8, so dobre

Tabela 1.
Vključitveni in izključitveni kriteriji

PICOS	Vključitveni kriteriji	Izključitveni kriteriji
P (population)	Zdravi posamezniki, športniki in nešportniki vseh starosti, brez poškodb ZSM ali po njej	Posamezniki po poškodbi ACL ali z drugimi patologijami (osteoartritis, cerebralna paraliza, poškodbe hrbtenjače)
I (intervention)	Različne oblike vadbenih intervencij (ekscentrična, koncentrična, izometrična, izoinercijska vadba ...)	Brez vadbene intervencije
C (comparison)	Primerjalna vadbena intervencija, kontrolna skupina	Primerjava vpliva različnih količin intervencije
O (outcome)	Mišična arhitektura in morfologija ZSM (dolžina mišičnih fasciklov, penacijski kot, prečni presek, volumen, debelina mišice)	Opazovana samo mišična jakost ali zmogljivost, arhitekturne in morfološke značilnosti, spremljanje le med izvajanjem vadbe
S (study design)	Intervencijske študije s primerjalno ali kontrolno skupino, randomizirane kontrolirane študije	Sistematični pregledi, komentarji, pisma uredniku, študije primera, izvlečki konferenc

Legenda: ACL – sprednja križna vez (angl. *anterior cruciate ligament*), ZSM – zadnje stegenske mišice

kakovosti, tiste z ocenama 9 in 10 pa odlične kakovosti (Cashin in McAuley, 2020).

Rezultati

Povzetek iskanja literature

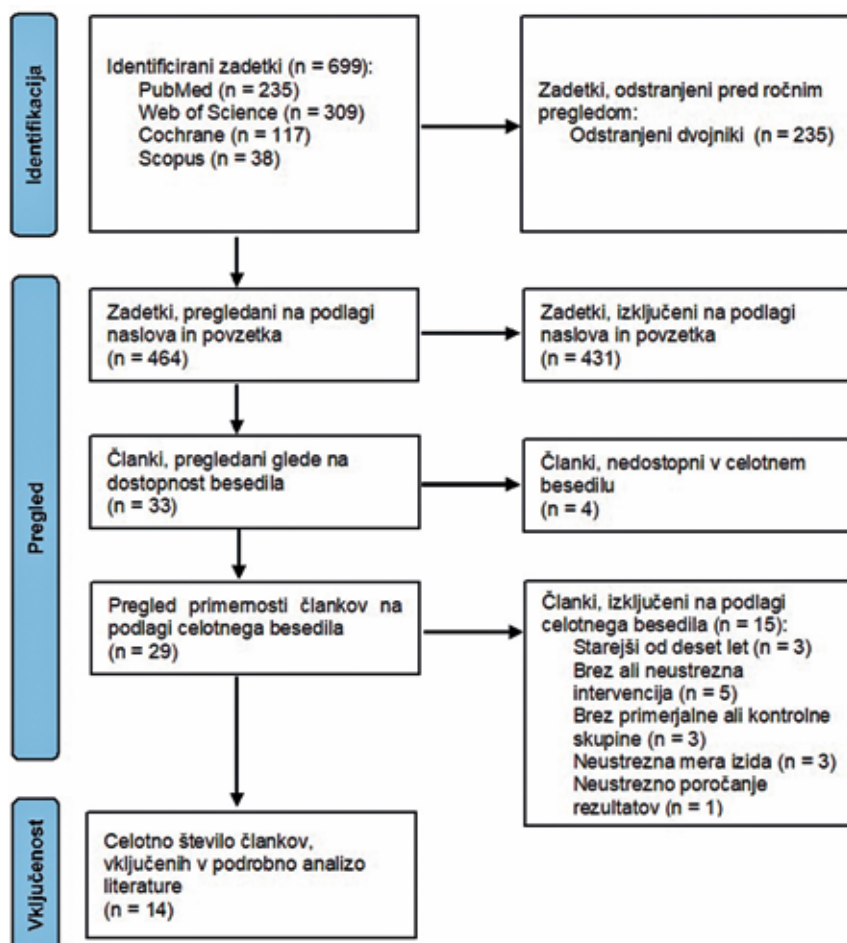
Z uporabo iskalnega niza smo iz podatkovnih zbirk pridobili 699 zadetkov. Odstranili smo 235 dvojnikov ter na podlagi naslova in povzetka pregledali 464 zadetkov, od tega smo jih izločili 431. Izmed preostalih 33 nam štirih ni uspelo pridobiti v celoti. Preostale raziskave smo pregledali v celoti ter na podlagi vključitvenih in izključitvenih kriterijev izločili 15 neustreznih. V sistematični pregled smo tako vključili 14 raziskav. Potek zbiranja in izključevanja literature je povzet na diagramu poteka pregleda literature po sistemu PRISMA na Sliki 1.

V sistematični pregled smo vključili 14 intervencijskih raziskav s primerjalno ali kontrolno skupino, v katerih je skupno sodeloval 401 preiskovanec. V vseh raziskavah so ugotavljali vpliv različnih intervencij vadbe proti uporabi na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM. Pri štirih raziskavah (Marušič idr., 2020; Ribeiro-Alvares idr., 2018; Seymore idr., 2017; Özdamar idr., 2022) so raziskovalci vadbena intervencijo primerjali s pasivno kontrolno skupino, medtem ko so v preostalih desetih primerjali različne vadbene pristope (Bourne idr., 2017; Carmichael idr., 2022; Duhig idr., 2019; Guex idr., 2016; Marchiori idr., 2022; Pollard idr., 2019; Presland idr., 2020; Suskens idr., 2023; Timmins idr., 2021; Timmins, Ruddy idr., 2016). Intervencije so trajale od najmanj treh (Guex idr., 2016) do 39 tednov (Timmins idr., 2021). V štirih raziskavah so bili vključeni tako moški kot ženske (Guex idr., 2016; Marušič idr., 2020; Ribeiro-Alvares idr., 2018; Seymore idr., 2017), medtem ko so bili

v preostalih desetih vključeni le moški preiskovanci (Bourne idr., 2017; Carmichael idr., 2022; Duhig idr., 2019; Marchiori idr., 2022; Pollard idr., 2019; Presland idr., 2020; Suskens idr., 2023; Timmins idr., 2016; Timmins idr., 2021; Özdamar idr., 2022). V Preglednici 2 so predstavljene osnovne značilnosti in ugotovitve raziskav.

Ocena kakovosti

Kakovost vključenih raziskav je segala od slabe do dobre, pri čemer je bila ena raziskava slabe kakovosti (Seymore idr., 2017), sedem jih je bilo srednje kakovosti (Bourne idr., 2017; Guex idr., 2016; Marušič idr., 2020; Pollard idr., 2019; Ribeiro-Alvares idr., 2018; Timmins idr., 2021; Özdamar idr., 2022) in



Slika 1. Diagram poteka pregleda literature po sistemu PRISMA (prirejeno po Page idr., 2021)

Tabela 2.

Značilnosti in glavne ugotovitve raziskav

Avtor in leto	Ocena Preiskovanci PEDro	Intervencija	Mera izida	Glavne ugotovitve
(Özdamar idr., 2022)	4/10 Sedentarno aktivni moški N = 40 (20 ES; 20 KS) Starost = 18–30 let Teža (kg) = 74,0 ± 2,8 ES; 74,0 ± 2,3 KS Višina (cm) = ni navedeno	ES: nordijska vaja KS: ni navedeno 10 tednov, stopnjevanje od 1 x tedensko 2 x 5 ponovitev do 3 x tedensko 3 x 12-10-8 ponovitev	Dolžina, penacijski kot BFH; SZ povečanje v ES (p = 0,002) po 9 tednih nordijske vaje in SZ manjši penacijski po 10 tednih ski kot fasciklov prekritivne vadbe (p = 0,0001) kot po koncu intervencije. in površina BFH Površina BFH: SZ povečanje v ES (p = 0,006) po 9 tednih nordijske vaje in SZ manjša površina po 10 tednih prekritivne vadbe (p = 0,001) kot po koncu intervencije. Dolžina fasciklov BFH: brez SZ sprememb.	
(Ribeiro-Alvares idr., 2018)	4/10 Telesno aktivni moški in ženske N = 20 (10 ES; 10 KS) Starost = 23,7 ± 3,3 ES; 26,0 ± 2,7 KS Teža (kg) = 59,1 ± 12,8 ES; 63,7 ± 11,1 KS Višina (cm) = 165,1 ± 9,0 ES; 166,4 ± 7,2 KS	ES: nordijska vaja KS: brez intervencije 4 tedne, 2 x tedensko, stopnjevanje od 3 x 6 ponovitev do 3 x 10 ponovitev	Dolžina, penacijski- Dolžina fasciklov BFH: SZ povečanje v ES (p < 0,001, d = 2,77). ski kot fasciklov Penacijski kot BFH: SZ zmanjšanje v ES (p < 0,001, d = 1,27). in debelina BFH Debelina BFH: brez SZ sprememb.	
(Seymore idr., 2017)	3/10 Rekreativno aktivni moški in ženske N = 20 (10 ES; 10 KS) Starost = 18,3 ± 0,5 ES; 19,9 ± 1,2 KS Teža (kg) = 71,3 ± 15,9 ES; 64,1 ± 12,1 KS Višina (cm) = 170 ± 10 ES; 160 ± 10 KS	ES: nordijska vaja KS: brez intervencije 6 tednov, stopnjevanje od 2 x 5 ponovitev 1 x tedensko in volumen BFH do 3 x 12-10-8 ponovitev 3 x tedensko	Dolžina, penacijski- Volumen BFH: SZ povečanje v ES (p < 0,05, d = 1,63). ski kot fasciklov Dolžina fasciklov BFH: brez SZ sprememb. in volumen BFH Penacijski kot BFH: brez SZ sprememb.	
(Marušič idr., 2020)	4/10 Rekreativno aktivni moški in ženske N = 34 (18 ES; 16 KS) Starost = 24,2 ± 2,1 ES; 23,0 ± 2,8 KS Teža (kg) = 73,0 ± 14,3 ES; 75,1 ± 15,1 KS Višina (cm) = 177 ± 9 ES; 179 ± 7 KS	ES: modificirana nordijska vaja (75° upogiba kolka) in drsna vaja (angl. glide) z utežjo KS: brez intervencije 6 tednov, 12 vadbenih enot, stopnjevanje od 2 x 5 ponovitev do 3 x 8 ponovitev	Dolžina, penacijski- Dolžina fasciklov BFH: SZ podaljšanje v ES (p < 0,01, d = 1,12). ski kot fasciklov Penacijski kot BFH: SZ zmanjšanje v ES (p < 0,01, d = 1,31). in debelina BFH Debelina BFH: brez SZ sprememb.	
(Duhig idr., 2019)	6/10 Rekreativno aktivni moški N = 30 (15 ES1; 15 ES2) Starost = 23,7 ± 4,8 ES1; 22,7 ± 3,9 ES2 Teža (kg) = 83,8 ± 14,6 ES1; 86,2 ± 15,4 ES2 Višina (cm) = 181,3 ± 6,9 ES1; 178,3 ± 5,8 ES2	ES1: nordijska vaja z utežjo ES2: enonožni koncentrični upogib kolena na trenažerjski kot fasciklov 5 tednov, 9 vadbenih enot, stopnjevanje od 2 x 6 ponovitev do 3 x 8 ponovitev vitev do 5 x 6 ponovitev	Dolžina, penacijski- Dolžina fasciklov BFH: SZ podaljšanje v ES1 (p < 0,001, d = 2,0) in SZ skrajšanje v ES2 (p < 0,001, d = 0,92), SZ razlika med skupinama (p < 0,001, d = 2,57). Penacijski kot BFH: SZ zmanjšanje v ES1 (p = 0,001, d = 0,52) in SZ povečanje v ES2 (p < 0,001, d = 1,69), SZ razlika med skupinama (p < 0,001, d = 2,07). Debelina BFH: SZ povečanje v ES1 (p < 0,001, d = 0,73) in ES2 (p = 0,005, d = 0,43), brez SZ razlik med skupinama (p = 0,868, d = 0,03).	
(Timmins, Ruddy idr., 2016)	6/10 Rekreativno aktivni moški N = 28 (14 ES1; 14 ES2) Starost = 21,2 ± 2,7 ES1; 23,4 ± 5,1 ES2 Teža (kg) = 77,9 ± 9,3 ES1; 76,2 ± 7,1 ES2 Višina (cm) = 181 ± 6 ES1; 181 ± 7 ES2	ES1: ekscentrična vadba na izokinetičnem dinamometru ES2: koncentrična vadba na izokinetičnem dinamometru 6 tednov, stopnjevanje od 4 x 6 ponovitev 2 x tedensko do 6 x 8 ponovitev 3 x tedensko	Dolžina, penacijski- Dolžina fasciklov BFH: SZ podaljšanje v ES1 (p < 0,05, d = 2,6–2,98) in SZ skrajšanje v ES2 v (p < 0,05, d = -1,62-(-0,96)). Po 4-tedenski prekritivni vadbe se je dolžina v ES1 SZ zmanjšala (p < 0,05, d = -1,73-(-1,55)) v primerjavi z dolžino po koncu intervencije. Penacijski kot BFH: SZ zmanjšanje v ES1 (p < 0,05, d = -1,30-(-0,85)) in SZ povečanje v ES2 (p < 0,05, d = 1,60-2,50). Debelina BFH: brez SZ sprememb.	
(Suskens idr., 2023)	6/10 Košarkarji N = 53 (19 ES1; 16 ES2; 18 KS) Starost = 19,7 ± 3,1 ES1; 25,3 ± 8,9 ES2; 22,1 ± 6,2 KS Teža (kg) = 84,9 ± 10,2 ES1; 86,3 ± 12,9 ES2; 12 tednov, 2 x tedensko, stopnjevanje od 2 x 5 ponovitev do 3 x 10-9-8 ponovitev Višina (cm) = 190,9 ± 8,4 ES1; 189,8 ± 10,1 ES2; 192,1 ± 10,1 KS	ES1: nordijska vaja ES2: enonožni mrtvi dvig z rokami v vzročanju (angl. diver) KS: brez intervencije tež do 3 x 10-9-8 ponovitev	Dolžina, penacijski- Dolžina fasciklov: SZ večje povečanje dolžine fasciklov ST pri ES1 v primerjavi s KS (p = 0,026). ski kot fasciklov Penacijski kot: SZ večje zmanjšanje kota fasciklov BFH pri ES2 v primerjavi s KS (p = 0,039). in volumen BFH, Volumen: brez SZ sprememb. SM in ST	
(Guex idr., 2016)	5/10 Rekreativno aktivni moški in ženske N = 22 (11 ES1; 11 ES2) Starost = 28 ± 4,5 ES1; 27,3 ± 3,9 ES2 Teža (kg) = 64,0 ± 12,7 ES1; 66,0 ± 13,6 ES2 Višina (cm) = 170,7 ± 5,9 ES1; 173,5 ± 10,8 ES2	ES1: ekscentrični izteg kolena pri dolgi dolžini na izokinetičnem dinamometru ES2: ekscentrični izteg kolena pri kratki dolžini na izokinetičnem dinamometru 3 tedne, 8 vadbenih enot, stopnjevanje od 3 x 8 ponovitev 2 x tedensko do 5 x 8 ponovitev 3 x tedensko	Dolžina in penacijski kot fasciklov BFH Penacijski kot BFH: brez SZ sprememb.	

Avtor in leto	Ocena Preiskovanci PEDro	Intervencija	Mera izida	Glavne ugotovitve
(Pollard idr., 2019)	5/10	Rekreativno aktivni moški N = 30 (10 ES1; 10 ES2; 10 ES3) Starost = 24 ± 4 ES1; 24 ± 4 ES2; 23 ± 3 ES3 Teža (kg) = 77 ± 12 ES1; 78 ± 11 ES2; 79 ± 11 ES3 Višina (cm) = 178 ± 6 ES1; 181 ± 5 ES2; 79 ± 12 ES3	ES1: nordijska vaja ES2: nordijska vaja z utežjo ES3: nordijska vaja s sočasnimi iztegom kolkov z utežjo 6 tednov, zmanjšanje od 4 x 6 ponovitev 2 x tedensko do 2 x 4 ponovitve 1 x tedensko	Dolžina fasciklov BFh: SZ podaljšanje v ES2 (p < 0,001, d = 1,41), po 1 tednu prekinitve vadbe pa se je dolžina ski kot fasciklov v ES2 SZ skrajšala (p = 0,021, d = -0,86). Po 2 tednih prekinitve vadbe je prišlo do SZ skrajšanja v primerjavi z debelina BFh dolžino po koncu intervencije v ES1 (p = 0,019, d = -1,03) in ES2 (p = 0,001, d = -1,30), ki se je nadaljevalo tudi do 4 tednov prekinitve vadbe (p = 0,005, d = -1,20 ES1; p < 0,001, d = -1,59 ES2). Penacijski kot BFh: SZ učinek časa (p < 0,001), z večjo velikostjo učinka zmanjšanja kota v ES2. Po 2 tednih prekinitve vadbe povečanje kota v ES2 (d = 0,97) in ES1 (d = 0,70).
(Presland idr., 2020)	6/10	Rekreativno aktivni moški N = 20 (10 ES1; 10 ES2) Starost = 29,2 ± 6,2 ES1; 26,4 ± 4,1 ES2 Teža (kg) = 78,5 ± 7,2 ES1; 81,5 ± 13,5 ES2 Višina (cm) = 176,9 ± 9,0 ES1; 179,6 ± 6,4 ES2	ES1: upogib kolena na IZN s poudarjeno ekscentrično fazo ES2: upogib kolena na IZN 6 tednov, 2 x tedensko, stopnjevanje od 4 x 6 ponovitev do 5 x 6 ponovitev	Dolžina, penacijski: Dolžina fasciklov BFh: SZ večje podaljšanje v intervencijski nogi ES1 v primerjavi z nasprotno nogo (izvajala ski kot fasciklov samo koncentrični del vaje) (p < 0,001, d = 1,72), v primerjavi z intervencijsko nogo ES2 (p < 0,001, d = 1,60) in v debelina BFh primerjavi s kontrolno nogo ES2 (p < 0,001, d = 1,78). Penacijski kot BFh: SZ večje zmanjšanje v intervencijski nogi ES1 v primerjavi z nasprotno nogo (p = 0,005, d = -0,95) in v primerjavi z intervencijsko nogo ES2 (p = 0,014, d = -0,63).
(Marchiori idr., 2022)	6/10	Igralci ragbija N = 23 (12 ES1; 11 ES2) Starost = 26,7 ± 4,9 ES1; 25,8 ± 3,9 ES2 Teža (kg) = 94,8 ± 16,8 ES1; 94,5 ± 19,6 ES2 Višina (cm) = 178 ± 5 ES1; 177 ± 4 ES2	ES1: nordijska vaja ES2: mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami pri 75 % 1RM 5 tednov, 2 x tedensko, stopnjevanje od 2 x 8 ponovitev do 4 x 12 ponovitev	Dolžina, penacijski: Dolžina fasciklov BFh: SZ učinek časa (p < 0,001) s SZ večjim povečanjem v ES1 (p = 0,015). ski kot fasciklov Penacijski kot BFh: SZ učinek časa (p < 0,001) brez SZ razlik med skupinama. Debelina BFh: SZ učinek časa (p < 0,001) brez SZ razlik med skupinama.
(Timmins idr., 2021)	4/10	Profesionalni nogometaši N = 27 (14 ES; 13 ES2) Starost = 23 ± 3 ES1; 22 ± 3 ES2 Teža (kg) = 82,7 ± 3,9 ES1; 78,3 ± 6,8 ES2 Višina (cm) = 186 ± 7 ES1; 184 ± 7 ES2	ES1: nordijska vaja z utežjo ES2: mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami na IZN 39 tednov, 2 x tedensko	Dolžina, penacijski: Dolžina fasciklov BFh: SZ podaljšanje v ES1 in ES2 po petih tednih intervencije (p < 0,001, d = 0,99 ES1; p < 0,001, d = 0,83) ski kot fasciklov ES2 ter SZ zmanjšanje v obeh skupinah po 4 tednih odmora od vadbe (p < 0,001, d = -1,72 ES1; p < 0,001, d = -1,27 ES2) v debelina BFh primerjavi s prejšnjo meritvijo. Po koncu intervencije fascikl v obeh skupinah SZ daljši od izhodiščne vrednosti (p < 0,001, d = 1,73 ES1; p < 0,001, d = 1,99 ES2), brez SZ razlik med skupinama. Penacijski kot BFh: SZ zmanjšanje v ES1 in ES2 (p = 0,017, d = 1,00 ES1; p = 0,025, d = 0,98 ES2), brez SZ razlik med skupinama.
(Bourne idr., 2017)	5/10	Rekreativno aktivni moški N = 30 (10 ES1; 10 ES2; 10 KS) Starost = 21,6 ± 3,2 ES1; 23,1 ± 4,1 ES2; 21,3 ± 3,7 KS Teža (kg) = 85,0 ± 10,9 ES1; 81,6 ± 9,7 ES2; 75,9 ± 11,8 KS Višina (cm) = 182,8 ± 8,7 ES1; 180 ± 6,3 ES2; 178,5 ± 5,4 KS	ES1: nordijska vaja z utežjo ES2: enonožni izteg kolka pri 60–70 % 1RM KS: brez intervencije 10 tednov, 2 x tedensko, stopnjevanje od 2 x 6 ponovitev do 5 x 8–10 ponovitev	Dolžina fasciklov Dolžina fasciklov BFh: SZ podaljšanje v ES1 in ES2 tako na sredini intervencije (p < 0,001, d = 1,39 ES1; p < 0,001, d = 1,12 ES2) kot po koncu intervencije (p < 0,001, d = 2,17 ES1; p < 0,001, d = 1,77 ES2), brez SZ razlike med ES1 in ES2. BFh, volumen in anatomski prečni presek ZSM Volumen ZSM: SZ večje povečanje volumna BFh v ES2 kot v ES1 (p = 0,037, d = 1,03) in KS (p < 0,001, d = 2,24). SZ večje povečanje volumna BF-sh in ST v ES1 (p < 0,001, d = 2,09 BF-sh; p < 0,001, d = 2,50 ST) ter ES2 (p = 0,044, d = 1,49 BF-sh; p = 0,002, d = 2,16 ST) v primerjavi s KS, brez SZ razlik med ES1 in ES2. SZ večje povečanje volumna SM v ES2 kot v KS (p = 0,007, d = 1,57). Anatomski prečni presek ZSM: SZ večje povečanje preseka BFh v ES2 kot v ES1 (p = 0,047, d = 0,98) in KS (p < 0,001, d = 1,94). SZ večje povečanje BF-sh v ES1 kot v KS (p = 0,001, d = 1,97). SZ večje povečanje SM v ES2 kot v KS (p = 0,0015, d = 1,34), brez SZ razlike med ES1 in ES2. SZ večje povečanje ST v ES1 (p < 0,001, d = 2,17) in ES2 (p = 0,002, d = 1,95) v primerjavi s KS, brez SZ razlik med ES1 in ES2.
(Carmichael idr., 2022)	6/10	Rekreativno aktivni moški N = 24 (12 ES1; 12 ES2) Starost = 21,7 ± 4,9 ES1; 22,0 ± 3,6 ES2 Teža (kg) = 73,0 ± 9,4 ES1; 77,8 ± 11,1 ES2 Višina (cm) = 177,1 ± 5,0 ES1; 181,9 ± 6,2 ES2	ES1: enonožni ekscentrični upogib kolka z utežjo ES2: enonožni izometrični izteg kolka z utežjo 6 tednov, 2 x tedensko, stopnjevanje od 40 s do 100 s časa pod napetostjo	Dolžina, penacijski: Dolžina fasciklov BFh: SZ podaljšanje v ES1 (p < 0,001, d = 1,57) in SZ razlika med skupinama (p = 0,004, d = 1,61). Po 4 tednih prekinitve vadbe so bili v ES1 SZ krajši kot po koncu intervencije (p = 0,001, d = 1,25), debelina BFh in vendar brez SZ razlike v primerjavi z izhodiščno vrednostjo (p = 0,999, d = 0,16). Volumen ZSM: SZ povečanje volumnov BFh (p < 0,001, d = 1,96) in SM (p < 0,001, d = 2,25) v ES1, ki se nista spremenila po obdobju prekinitve vadbe (p = 0,999, d = -0,05 BFh; p = 0,378, d = -0,55 SM). SZ povečanje volumna ST v ES2 (p = 0,005, d = 1,57) po intervenciji in SZ večji volumen ST v ES1 (p = 0,028, d = 0,92) po 4 tednih prekinitve vadbe v primerjavi z izhodiščno vrednostjo. Debelina BFh: brez SZ sprememb.

Legenda: ES – eksperimentalna skupina, KS – kontrolna skupina, SZ – statistično značilno, BFh – dolga glava m. biceps femoris (angl. *biceps femoris long head*), SM – polopnasta mišica (m. *semimembranosus*), ST – polkriasta mišica (m. *semitendinosus*), ZSM – zadnje stegenske mišice, IZN – izometrijska naprava, RM – ponovljeni maksimum

šest dobre kakovosti (Carmichael idr., 2022; Duhig idr., 2019; Marchiori idr., 2022; Presland idr., 2020; Suskens idr., 2023; Timmins idr., 2016). Najpogostejši neizpolnjeni kriteriji kakovosti so bili prikrita dodelitev v skupine, slepost preiskovancev in terapevtov ter analiza z namero zdravljenja (angl. *intention to treat analysis*).

Razprava

Vpliv vadbenih intervencij na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM

Dolžina fasciklov

V večini vključenih raziskav (12 od 14) so avtorji ugotovili, da ekscentrična vadba učinkovito podaljša mišične fascikle ZSM. Kot učinkovite so se pokazali nordijska vaja z lastno telesno maso (Marchiori idr., 2022; Ribeiro-Alvares idr., 2018; Suskens idr., 2023) in z dodanim bremenom (Bourne idr., 2017; Duhig idr., 2019; Pollard idr., 2019; Timmins idr., 2021), kombinacija modificirane nordijske vaje in drsne vaje z bremenom (Marušič idr., 2020), ekscentrični izteg kolena na izokinetičnem dinamometru tako v sedečem kot ležečem položaju (Guex idr., 2016; Timmins, Ruddy idr., 2016), upogib kolena na izoinerzijski napravi (v nadaljevanju: IZN) s poudarjeno ekscentrično fazo (Presland idr., 2020), mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami na IZN (Timmins idr., 2021) ter enonožni izteg kolka z bremenom tako v ekscentrično-koncentrični (Bourne idr., 2017) kot le v ekscentrični izvedbi (Carmichael idr., 2022). V omenjenih raziskavah z izjemo Suskens idr. (2023) so raziskovalci dokazali podaljšanje fasciklov BFlh, medtem ko so slednji v svoji raziskavi po intervenciji nordijske vaje opazili podaljšanje fasciklov polkitaste mišice (*m. semitendinosus* – v nadaljevanju: ST). Izometrična vadba ne vpliva na podaljšanje fasciklov BFlh (Carmichael idr., 2022). Poleg tega so Duhig idr. (2019) ter Timmins, Ruddy idr. (2016) ugotovili, da koncentrična vadba v nasprotju z ekscentrično skrajša mišične fascikle BFlh. Učinkovitost ekscentrične vadbe pri podaljšanju fasciklov ZSM so ugotovili tudi Emirzeoğlu idr. (2021) ter Lizama-Perez idr. (2022) v svojih sistematičnih pregledih. Naše ugotovitve so ujemale tudi z rezultati metaanalize Gérard idr. (2020), ki je pokazala srednje močne dokaze, da ekscentrična vadba poveča dolžino mišičnih fasciklov ZSM ($MD = 1,97$; 95 % $CI = 1,48, 2,46$). To potrjuje tudi metaanaliza Medeiros idr. (2020) z navedbo, da je nordijska vaja učinkovitejša pri podaljševanju

mišičnih fasciklov v primerjavi s kontrolno skupino ali drugimi oblikami vadbe.

V raziskavah, pri katerih so primerjali različne oblike ekscentrične vadbe, so Suskens idr. (2023) ugotovili, da ima na podaljšanje fasciklov ST pozitiven učinek le nordijska vaja, medtem ko enonožni mrtvi dvig z rokami v vzročenju fasciklov ni podaljšal. Rezultati raziskave Pollard idr. (2019) so pokazali, da je izmed ekscentrične izvedbe nordijske vaje s sočasnim iztegom kolkov (angl. *razor curl*), nordijske vaje z lastno telesno maso in nordijske vaje z bremenom pri podaljšanju fasciklov BFlh učinkovita le slednja. To nakazuje potrebo po dodajanju bremena za doseganje oziroma ohranjanje supramaksimalne obremenitve mišice za učinkovito podaljšanje mišičnih fasciklov. Poleg tega nordijska vaja s sočasnim iztegom kolkov morda ni bila učinkovita zaradi svoje bolj izometrične narave, saj se med izvedbo mišično-tetivna enota prek kolka skrajšuje in prek kolena podaljšuje, zaradi česar se njena dolžina verjetno znatno ne spremeni. Posledično lahko med vajo pride do manjše vzdolžne napetosti znotraj mišice, kar lahko potencialno negativno vpliva na dražljaj za podaljšanje mišičnih fasciklov (Pollard idr., 2019). Guex idr. (2016) so v svoji raziskavi, v kateri so primerjali učinkovitost ekscentričnega iztega kolena pri manjši in večji dolžini BFlh, ugotovili, da so se fascikli podaljšali v obeh primerih, vendar je bila vadba pri večji dolžini učinkovitejša. Slednja ugotovitev nakazuje možnost, da je ekscentrična vadba pri večji dolžini mišice učinkovitejša intervencija za podaljšanje mišičnih fasciklov. Presland idr. (2020) so ugotovili, da je vadba z le ekscentrično kontrakcijo ZSM (upogib kolena na IZN s poudarjeno ekscentrično fazo) učinkovitejša pri podaljševanju mišičnih fasciklov BFlh kot ekscentrično-koncentrična izvedba, tudi če je ta izvedena na IZN, pri kateri je obremenitev v ekscentričnem delu giba večja.

Štiri raziskave med drugim vključujejo spremembe dolžine fasciklov po obdobju prekinitev vadbe proti uporabi, pri čemer so ugotovili, da prekinitev ekscentrične (Carmichael idr., 2022; Pollard idr., 2019; Timmins, Ruddy idr., 2016) in ekscentrično-koncentrične vadbe (Timmins idr., 2021) povzroči ponovno skrajšanje fasciklov BFlh. Dolžina fasciklov BFlh se pomembno skrajša že po enem tednu prekinitev vadbe (Pollard idr., 2019). Te ugotovitve se ujemajo s študijo Emirzeoğlu idr. (2021), ki so prav tako opazili, da se pridobitve v dol-

žini fasciklov BFlh izgubijo v kratkem času prekinitev vadbe. Zato je pomembno, da se za učinkovito in dolgotrajno preventivo pred poškodbami ZSM ekscentrična vadba izvaja redno in skozi celotno leto oziroma obdobje treniranja in tekmovanja.

Penacijski kot

Pri desetih izmed 13 raziskav so raziskovalci opazili spremembe v velikosti penacijskega kota BFlh, v treh raziskavah pa do sprememb kota ni prišlo. Kot posledica vadbe se je penacijski kot BFlh zmanjšal v devetih raziskavah, medtem ko se je v raziskavi Özdamar idr. (2022) povečal. Penacijski kot BFlh se je zmanjšal po nordijski vaji z lastno telesno maso (Ribeiro-Alvares idr., 2018) in z bremenom (Duhig idr., 2019; Timmins idr., 2021), po kombinaciji modificirane nordijske vaje in drsne vaje z bremenom (Marušič idr., 2020), ekscentričnem iztegu kolena na izokinetičnem dinamometru (Timmins, Ruddy idr., 2016), potapljaški vaji (Suskens idr., 2023), upogibu kolena na IZN s poudarjeno ekscentrično fazo (Presland idr., 2020) ter po mrtvem dvigu z iztegnjenimi nogami na IZN (Timmins idr., 2021). Podobno kot pri dolžini fasciklov so Duhig idr. (2019) ter Timmins, Ruddy idr. (2016) po koncentrični vadbi opazili povečanje penacijskega kota fasciklov BFlh, medtem ko izometrična vadba ni imela vpliva na spremembo penacijskega kota (Carmichael idr., 2022). V sistematičnem pregledu Emirzeoğlu idr. (2021) so podobno kot v našem pregledu opazili zmanjšanje penacijskega kota ali pa se ta ni spremenil.

Pri primerjavi različnih ekscentričnih vadbenih intervencij se je drugače kot pri vplivu na dolžino fasciklov enonožni mrtvi dvig z rokami v vzročenju izkazal kot učinkovita vaja pri zmanjšanju penacijskega kota fasciklov BFlh, medtem ko nordijska vaja ni imela učinka (Suskens idr., 2023). V raziskavi Pollard idr. (2019) je bilo zmanjšanje penacijskega kota BFlh večje po nordijski vaji z utežjo, medtem ko pri isti vaji z lastno telesno maso in s sočasnim iztegom kolkov ni prišlo do spremembe kota v času.

V študijah, pri katerih so avtorji primerjali učinke ekscentrične in ekscentrično-koncentrične vadbe na spremembe v penacijskem kotu BFlh, so ugotovili, da se ta bolj zmanjša po intervenciji upogiba kolena na IZN s poudarkom na ekscentrični fazi kot pri klasični izvedbi upogiba kolena na IZN (Presland idr., 2020). Timmins idr. (2021), ki so primerjali nordijsko vajo z bremenom in mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami na IZN,

so ugotovili, da se penacijski kot BFlh primerljivo zmanjša po obeh vajah.

V dveh raziskavah, pri katerih so ugotavljali tudi posledice prekinitve vadbe na penacijski kot BFlh, se ta po obdobju prekinitve vadbe ni pomembno spremenil (Timmins, Ruddy idr., 2016; Timmins idr., 2021). Pollard idr. (2019) so po dveh tednih prekinitve vadbe opazili povečanje penacijskega kota BFlh tako pri preiskovancih, ki so izvajali nordijsko vajo z lastno telesno maso, kot pri preiskovancih, ki so vajo izvajali z dodatnim bremenom. Penacijski kot se je v štirih tednih prekinitve vadbe nadaljnje povečeval. Obratno pa so Özdamar idr. (2022) po desetih tednih prekinitve vadbe opazili zmanjšanje penacijskega kota BFlh, ki se je prvotno po vadbni intervenciji povečal.

Volumen, debelina in prečni presek

V devetih vključenih raziskavah so avtorji spremljali spremembe debeline BFlh, v štirih so opazovali volumen ZSM, v eni poleg tega še anatomske prečni presek in v eni spremembo površine BFlh. Povečanje volumna, debeline ali prečnega preseka BFlh so opazili v sedmih izmed 14 raziskav, in sicer po nordijski vaji z lastno telesno maso (Seymore idr., 2017; Özdamar idr., 2022) ter z bremenom (Duhig idr., 2019), po enonožnem koncentričnem upogibu kolena na trenažerju (Duhig idr., 2019), enonožnem iztegu kolka z bremenom pri ekscentrično-koncentrični izvedbi (Bourne idr., 2017) ter pri izolirani ekscentrični izvedbi (Carmichael idr., 2022). Zmanjšanje volumna ne predstavlja dejavnika tveganja za poškodbo ZSM (Bourne idr., 2017), vendar so bili pri posameznikih s predhodno poškodbo opaženi primanjkljaji v volumnu poškodovane BFlh v primerjavi z nepoškodovano vse do dveh let po koncu rehabilitacije (Silder idr., 2008). Poleg tega je debelina mišice dejavnik, povezan z mišično jakostjo (Blazevich idr., 2006). Za zmanjšanje tega primanjkljaja bi bile torej lahko uporabne omenjene vadbene intervencije.

Carmichael idr. (2022) so poleg povečanja volumna BFlh opazili tudi povečanje volumna polopnaste mišice (*m. semimembranosus*) po vadbi enonožnega ekscentričnega upogiba kolka z bremenom, medtem ko so po enonožnem izometričnem iztegu kolka z bremenom zaznali povečanje volumna ST. Bourne idr. (2017) so ugotovili, da se nordijska vaja z bremenom in enonožni izteg kolka z bremenom razlikujeta po svojih učinkih na volumen in prečni

preseki ZSM. Po njihovih ugotovitvah nordijska vaja vpliva le na volumen in prečni presek ST ter kratko glavo dvoglave stegenske mišice, medtem ko vadba enonožnega iztega kolka povzroči povečanje volumna in prečnega preseka vseh mišic ZSM. Glede na omenjeno bi bili vadbi nordijske vaje in izometričnega iztega kolka z bremenom lahko uporabni intervenciji po rekonstrukciji sprednje križne vezi, po kateri so pogosto opazni primanjkljaji v volumnu ST (Messer idr., 2020).

Na podlagi ugotovitev vključenih raziskav lahko sklenemo, da ekscentrična vadba ZSM učinkovito podaljša mišične fascikle BFlh in zmanjša penacijski kot fasciklov, medtem ko je vpliv na povečanje debeline ali volumna ZSM nekoliko bolj variabilen.

Vpliv drugih spremenljivk na spremembe v arhitekturi in morfologiji mišic

Na učinkovitost intervencije lahko vplivajo različne spremenljivke. Ena izmed teh je dolžina mišice, pri kateri se vadba izvaja. Tako so Guex idr. (2016) v okviru primerjave ekscentrične vadbe pri večji in manjši dolžini ZSM ugotovili, da je vadba pri večji dolžini nekoliko učinkovitejša pri podaljševanju fasciklov BFlh, saj so se fascikli med vadbo pri večji dolžini povečali skoraj dvakrat toliko kot med vadbo pri manjši dolžini ZSM. Po drugi strani je bila sprememba dolžine fasciklov BFlh v raziskavi, ki je primerjala nordijsko vajo z vajo iztega kolka, primerljiva (Van Hooren in Bosch, 2017), čeprav je pri vaji iztega kolka dolžina mišično-tetivne enote večja (Carmichael idr., 2022). Marušič idr. (2020) navajajo, da je velikost učinka ekscentričnega vadbene programa pri večjih dolžinah ZSM na podaljšanje fasciklov BFlh in zmanjšanje njihovega penacijskega kota primerljiva ali celo večja od velikosti učinka ekscentrične vadbe pri manjših dolžinah ZSM. Timmins, Shield idr. (2016) predvidevajo morebitno povezavo med obsegom giba, ki ga mišična skupina zavzema na dnevni ravni, in njenimi prilagoditvami po vadbni intervenciji. Avtorji predpostavljajo, da izvajanje vadbe proti uporabi skozi obseg giba, ki presega tistega, ki mu je mišična skupina dnevno izpostavljena, lahko poveča dolžino mišičnih fasciklov, ne glede na vrsto mišične kontrakcije. To bi lahko pojasnilo manjši vpliv ekscentrične vadbe na dolžino fasciklov pri mladih športnikih, ki morda pogosto že zavzemajo obsege giba, podobne tistim, pri katerih se izvaja vadbena intervencija (Blazevich idr.,

2003). Ta razlaga je zanimiva, vendar se za zdaj zdi, da gre le za domnevo, zato so potrebne nadaljnje raziskave, ki bi ugotavljale pomen in vpliv dolžine mišice, pri kateri se vadba izvaja, na arhitekturne spremembe mišic. Poleg tega predpostavka Timmins, Shield idr. (2016), da lahko vadba skozi večji obseg giba, kot mu je mišica običajno izpostavljena, podaljša mišične fascikle ne glede na vrsto mišične kontrakcije, ni vedno resnična. Nasprotno nakazujejo rezultati Timmins, Ruddy idr. (2016), ki so v svoji raziskavi po izvajanju koncentrične vadbe pri večji dolžini mišice opazili skrajšanje fasciklov BFlh. To nakazuje, da dolžina mišic, pri kateri se vadba izvaja, ni edini dejavnik, ki vpliva na podaljšanje mišičnih fasciklov, temveč je odziv fasciklov odvisen tudi od vrste mišične kontrakcije.

Na spremembe v arhitekturi in morfologiji mišic torej vpliva tudi vrsta mišične kontrakcije. Ekscentrična podaljša mišične fascikle in zmanjša njihov penacijski kot (Emirzeoğlu idr., 2021), medtem ko lahko koncentrična kontrakcija mišične fascikle skrajša in poveča penacijski kot (Timmins, Shield idr., 2016). Vpliv kombinacije ekscentrične in koncentrične kontrakcije je nekoliko manj poznan. Bourne idr. (2017) ugotavljajo, da bi lahko kombinirana ekscentrično-koncentrična vadba nekoliko zmanjšala podaljšanje fasciklov BFlh zaradi svoje koncentrične komponente. Kljub temu so v nekaterih raziskavah, pri katerih so preiskovanci izvajali vadbo z ekscentrično in koncentrično fazo vaje, zaznali podaljšanje mišičnih fasciklov (Bourne idr., 2017; Marchiori idr., 2022; Timmins idr., 2021). Pomembno pa je omeniti, da je šlo za vaje, pri katerih so ZSM v podaljšanem položaju (mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami in izteg kolka), kar je lahko pozitivno vplivalo na učinkovitost vadbene intervencije. V prihodnje so potrebne dodatne raziskave na tem področju.

Pomemben naj bi bil tudi sklep, prek katerega se izvaja gib. Nekateri avtorji navajajo, da gibanja prek kolena bolj aktivirajo ST, medtem ko je pri gibanjih, ki se osredotočajo na izteg kolka, bolj aktivirana BFlh (Bourne idr., 2018). Literatura na tem področju je nekoliko pomanjkljiva, saj po naših podatkih ni raziskav, ki bi izolirano primerjale učinke vadbe prek kolka in kolena na spremembe v arhitekturi in morfologiji ZSM.

Nazadnje na učinkovitost vadbene intervencije pri spremembi arhitekturnih in morfoloških značilnosti ZSM vplivajo trajanje intervencije, intenzivnost in hitrost, pri

kateri je posamezna vaja izvajana, ter količina vadbe. Za določitev vrednosti, pri katerih je vadba najučinkovitejša, so potrebne nadaljnje raziskave.

Prednosti in omejitve

Prednost našega pregleda literature je, da smo vanj vključili novejša raziskava, vse so bile objavljene v zadnjih desetih letih. Poleg tega smo vključili raziskave z različnimi vadbenimi intervencijami in s tem pridobili širši vpogled, kako vaje pri različnih mišičnih dolžinah in v različnih izvedbah ter različnih položajih vplivajo na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM.

Omejitev našega pregleda literature je, da na podlagi rezultatov ne moremo sklepati o spremenljivkah (dolžina mišice, vrsta mišične kontrakcije, sklep, prek katerega se izvaja gib, itd.), ki imajo večji vpliv na učinkovitost vadbene intervencije. Intervencije v vključenih raziskavah so namreč precej raznolike ter po večini niso ugotavljale razlik v vplivu posameznih spremenljivk na učinkovitost intervencije. Če so avtorji primerjali dve intervenciji, sta se ti razlikovali v več spremenljivkah. Zaradi tega morebitnih razlik v učinkovitosti intervencije ne moremo pripisati vplivu le določene spremenljivke. Poleg tega raziskav v našem pregledu literature nismo primerjali na podlagi trajanja intervencije in količine vadbe ter hitrosti izvedbe posamezne vaje, ki lahko pomembno vplivajo na učinkovitost vadbene intervencije. V prihodnje bi bile potrebne dodatne raziskave in sistematični pregledi, ki proučujejo vpliv omenjenih spremenljivk na spremembe v arhitekturnih in morfoloških značilnostih ZSM. Še ena omejitev našega pregleda literature je ta, da so pri večini raziskav vključeni rekreativno aktivni moški, le v štirih raziskavah so vključene tudi ženske. Zato rezultate raziskav nekoliko težje posplošimo na splošno populacijo. Poleg tega so bili le v treh raziskavah vključeni trenirani športniki (Marchiori idr., 2022; Timmins idr., 2021).

Prikaz najpogostejših vaj

V vključenih raziskavah so bili najpogostejše proučevani učinki nordijske vaje, mrtvega dviga z iztegnjenimi nogami in vaje enonožnega iztega kolka. Nordijska vaja (Slika 2, zgoraj) je bila uporabljena v devetih raziskavah, od tega je bilo v treh ugotovljeno zmanjšanje penacijskega kota in v sedmih podaljšanje mišičnih fasciklov ZSM. Tako mrtvi dvig z iztegnjenimi nogami (Slika 2, sredina) kot vaja iztega kolka na klopi (Slika



Slika 2: Prikaz izvedbe najpogostejših vaj v vključenih raziskavah. Pri zadnji vaji je pogostejša enonožna različica (na sliki prikazana sonožna).

2, spodaj) sta bila tema raziskovanja v dveh študijah. Mrtvi dvig pri izvedbi na izoinerzijski napravi je povzročil zmanjšanje penacijskega kota in podaljšanje fasciklov ZSM, vaja enonožnega iztega kolka pa podaljšanje mišičnih fasciklov, pri čemer je bila velikost učinka pri ekscentrični izvedbi večja kot pri ekscentrično-koncentrični.

Zaključek

Arhitekturne in morfološke značilnosti mišic so dejavniki, ki lahko vplivajo na dovzetnost posameznika za mišične poškodbe. Krajši mišični fascikli namreč predstavljajo dejavnik tveganja za poškodbo ZSM, za katero je značilna zelo visoka stopnja po-

novitve. Poleg tega so po poškodbi BFLh mišični fascikli krajši in penacijski kot večji kot v nepoškodovani nogi. Na arhitekturne in morfološke značilnosti mišic lahko vplivamo z različnimi dražljaji. V našem sistematičnem pregledu smo predstavili literaturo o vplivu različnih vadbene intervencij na arhitekturne in morfološke značilnosti ZSM. Ugotovili smo, da različne oblike ekscentrične vadbe podaljšajo fascikle BFLh ter zmanjšajo njihov penacijski kot, medtem ko je njihov vpliv na volumen, debelino in prečni presek ZSM nekoliko bolj raznolik. Na spremembe v arhitekturi vpliva obdobje prekinitev vadbe, in sicer se dolžina mišičnih fasciklov pomembno zmanjša že po enem tednu prekinitev vadbe, medtem ko

se penacijski kot lahko ne spremeni ali pa se poveča. Na učinkovitost intervencije lahko vpliva več spremenljivk, na primer vrsta mišične kontrakcije, dolžina mišice, pri kateri se vadba izvaja, sklep, prek katerega se izvaja gib, hitrost izvedbe vaje in podobno. Pri določanju vrednosti spremenljivk, pri katerih je vadba najučinkovitejša, je tako še veliko priložnosti za nadaljnje raziskovanje.

Literatura

1. Arnason, A., Andersen, T. E., Holme, I., Engbretsen, L. in Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(1), 40–48. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x>
2. Biz, C., Nicoletti, P., Baldin, G., Bragazzi, N. L., Crimi, A. in Ruggieri, P. (2021). Hamstring Strain Injury (HSI) Prevention in Professional and Semi-Professional Football Teams: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8272. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168272>
3. Blazevich, A. J., Gill, N. D., Bronks, R. in Newton, R. U. (2003). Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(12), 2013–2022. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000099092.83611.20>
4. Blazevich, A. J., Gill, N. D. in Zhou, S. (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289–310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x>
5. Bourne, M. N., Duhig, S. J., Timmins, R. G., Williams, M. D., Opar, D. A., Al Najjar, A., Kerr, G. K. in Shield, A. J. (2017). Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: implications for injury prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 469–477. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096130>
6. Bourne, M. N., Timmins, R. G., Opar, D. A., Pizzari, T., Ruddy, J. D., Sims, C., Williams, M. D. in Shield, A. J. (2018). An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercises to Prevent Hamstring Injury. *Sports Medicine*, 48(2), 251–267. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0796-x>
7. Brockett, C. L., Morgan, D. L. in Proske, U. (2001). Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), 783.
8. Brockett, C. L., Morgan, D. L. in Proske, U. (2004). Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 379–387. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000117165.75832.05>
9. Brooks, J., Fuller, C., Kemp, S. in Reddin, D. (2006). Incidence, Risk, and Prevention of Hamstring Muscle Injuries in Professional Rugby Union. *The American Journal of Sports Medicine*, 34, 1297–1306. <https://doi.org/10.1177/0363546505286022>
10. Carmichael, D. S., Hickey, J. T., Tofari, P. J., Bourne, M. N., Ward, M. R. in Timmins, R. G. (2022). Effect of an Isometric or Eccentric Hip Extension Exercise Intervention on Hamstring Strength, Architecture, and Morphology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(12), 2196–2207. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003012>
11. Cashin, A. G. in McAuley, J. H. (2020). Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *Journal of Physiotherapy*, 66(1), 59. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.08.005>
12. Duhig, S. J., Bourne, M. N., Buhmann, R. L., Williams, M. D., Minett, G. M., Roberts, L. A., Timmins, R. G., Sims, C. K. E. in Shield, A. J. (2019). Effect of concentric and eccentric hamstring training on sprint recovery, strength and muscle architecture in inexperienced athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(7), 769–774. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.01.010>
13. Ekstrand, J., Healy, J. C., Waldén, M., Lee, J. C., English, B. in Häggglund, M. (2012). Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 112–117. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090155>
14. Elliott, M. C. C. W., Zarins, B., Powell, J. W. in Kenyon, C. D. (2011). Hamstring muscle strains in professional football players: a 10-year review. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(4), 843–850. <https://doi.org/10.1177/0363546510394647>
15. Ema, R., Akagi, R., Wakahara, T. in Kawakami, Y. (2016). Training-induced changes in architecture of human skeletal muscles: Current evidence and unresolved issues. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 5(1), 37–46. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.5.37>
16. Emirzeoğlu, M., Firat, T. in Ülger, Ö. (2021). The effects of eccentric training on hamstring muscle architecture: a systematic review. *Kinesiology*, 53(1), 141–153. <https://doi.org/10.26582/k.53.1.17>
17. Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V. in Csapo, R. (2018). Muscle Architecture Assessment: Strengths, Shortcomings and New Frontiers of *in Vivo* Imaging Techniques. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 44(12), 2492–2504. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.010>
18. Gérard, R., Gojon, L., Declève, P. in Van Cant, J. (2020). The Effects of Eccentric Training on Biceps Femoris Architecture and Strength: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Journal of Athletic Training*, 55(5), 501–514. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-194-19>
19. Goode, A. P., Reiman, M. P., Harris, L., DeLisa, L., Kauffman, A., Beltramo, D., Poole, C., Ledbetter, L. in Taylor, A. B. (2015). Eccentric training for prevention of hamstring injuries may depend on intervention compliance: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 349–356. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093466>
20. Guex, K., Degache, F., Morisod, C., Saily, M. in Millet, G. P. (2016). Hamstring Architectural and Functional Adaptations Following Long vs. Short Muscle Length Eccentric Training. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00340>
21. Häggglund, M., Waldén, M. in Ekstrand, J. (2013). Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(2), 327–335. <https://doi.org/10.1177/0363546512470634>
22. Heiderscheit, B. C., Hoerth, D. M., Chumanov, E. S., Swanson, S. C., Thelen, B. J. in Thelen, D. G. (2005). Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: A case study. *Clinical Biomechanics*, 20(10), 1072–1078. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.07.005>
23. Heiderscheit, B. C., Sherry, M. A., Silder, A., Chumanov, E. S. in Thelen, D. G. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(2), 67–81. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3047>
24. Kellis, E., Galanis, N., Natsis, K. in Kapetanios, G. (2009). Validity of architectural properties of the hamstring muscles: correlation of ultrasound findings with cadaveric dissection. *Journal of Biomechanics*, 42(15), 2549–2554. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.07.011>
25. Kerkhoffs, G. M. M. J., van Es, N., Wieldraaijer, T., Siersevelt, I. N., Ekstrand, J. in van Dijk, C. N. (2013). Diagnosis and prognosis of acute hamstring injuries in athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(2), 500–509. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2055-x>
26. Kwah, L. K., Pinto, R. Z., Diong, J. in Herbert, R. D. (2013). Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: a systematic review. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 114(6), 761–769. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01430.2011>
27. Lieber, R. L. in Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve*, 23(11), 1647–1666. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200011\)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m)
28. Lizama-Perez, R., Chiroso-Rios, I., Chiroso-Rios, L., Olave, E., Ferragut, C., Vila, H. in Jerez-Mayorga, D. (2022). Effects of Eccentric

- Exercise on Muscle Architecture in Adults: A Systematic Review. *International journal of morphology*, 40(2), 425–432.
29. Marchiori, C. L., Medeiros, D. M., Severo-Silveira, L., Oliveira, G. dos S., Medeiros, T. M., de Araujo Ribeiro-Alvares, J. B. in Baroni, B. M. (2022). Muscular adaptations to training programs using the Nordic hamstring exercise or the stiff-leg deadlift in rugby players. *Sport sciences for health*, 18(2), 415–423. <https://doi.org/10.1007/s11332-021-00820-0>
 30. Marušič, J., Vatovec, R., Marković, G. in Šarabon, N. (2020). Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(11), 2130–2142. <https://doi.org/10.1111/sms.13770>
 31. Medeiros, D. M., Marchiori, C. in Baroni, B. M. (2020). Effect of Nordic Hamstring Exercise Training on Knee Flexors Eccentric Strength and Fascicle Length: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Sport Rehabilitation*, 30(3), 482–491. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0388>
 32. Messer, D. J., Shield, A. J., Williams, M. D., Timmins, R. G. in Bourne, M. N. (2020). Hamstring muscle activation and morphology are significantly altered 1–6 years after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus graft. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 28(3), 733–741. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05374-w>
 33. Methley, A. M., Campbell, S., Chew-Graham, C., McNally, R. in Cheraghi-Sohi, S. (2014). PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Services Research*, 14(1), 579. <https://doi.org/10.1186/s12913-014-0579-0>
 34. Narici, M. (1999). Human skeletal muscle architecture studied in vivo by non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(2), 97–103. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(98\)00041-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(98)00041-8)
 35. Okamoto, Y., Kunimatsu, A., Kono, T., Kujirakawa, Y., Sonobe, J. in Minami, M. (2010). Gender Differences in MR Muscle Tractography. *Magnetic Resonance in Medical Sciences*, 9(3), 111–118. <https://doi.org/10.2463/mrms.9.111>
 36. Orchard, J. in Seward, H. (2002). Epidemiology of injuries in the Australian Football League, seasons 1997–2000. *British Journal of Sports Medicine*, 36(1), 39–44. <https://doi.org/10.1136/bjsm.36.1.39>
 37. Orchard, J. W., Seward, H. in Orchard, J. J. (2013). Results of 2 decades of injury surveillance and public release of data in the Australian Football League. *The American Journal of Sports Medicine*, 41(4), 734–741. <https://doi.org/10.1177/0363546513476270>
 38. Özdamar, H. Ç., Erkek, Ö. K., Akkaya, H. E., Toprak, E. K. in Küçükataş, Z. M. B. (2022). A randomized controlled trial: effectiveness of 10-week Nordic Hamstring exercise training and subsequent detraining in healthy young men. *Pamukkale Medical Journal*, 15(4), 756–771. <https://doi.org/10.31362/patd.1110573>
 39. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
 40. Pollard, C. W., Opar, D. A., Williams, M. D., Bourne, M. N. in Timmins, R. G. (2019). Razor hamstring curl and Nordic hamstring exercise architectural adaptations: Impact of exercise selection and intensity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 29(5), 706–715. <https://doi.org/10.1111/sms.13381>
 41. Presland, J. D., Opar, D. A., Williams, M. D., Hickey, J. T., Maniar, N., Lee Dow, C., Bourne, M. N. in Timmins, R. G. (2020). Hamstring strength and architectural adaptations following inertial flywheel resistance training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(11), 1093–1099. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.04.007>
 42. Ribeiro-Alvares, J. B., Marques, V. B., Vaz, M. A. in Baroni, B. M. (2018). Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1254–1262. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001975>
 43. Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R. in Pandey, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait & Posture*, 29(2), 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.10.054>
 44. Seymore, K. D., Domire, Z. J., DeVita, P., Rider, P. M. in Kulas, A. S. (2017). The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength. *European Journal of Applied Physiology*, 117(5), 943–953. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3583-3>
 45. Silder, A., Heiderscheit, B. C., Thelen, D. G., Enright, T. in Tuite, M. J. (2008). MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury. *Skeletal Radiology*, 37(12), 1101–1109. <https://doi.org/10.1007/s00256-008-0546-0>
 46. Sinha, S. in Sinha, U. (2011). Reproducibility analysis of diffusion tensor indices and fiber architecture of human calf muscles in vivo at 1.5 Tesla in neutral and plantarflexed ankle positions at rest. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 34(1), 107–119. <https://doi.org/10.1002/jmri.22596>
 47. Suskens, J. J. M., Secondulfo, L., Kiliç, Ö., Hooijmans, M. T., Reurink, G., Froeling, M., Nederveen, A. J., Strijkers, G. J. in Tol, J. L. (2023). Effect of two eccentric hamstring exercises on muscle architectural characteristics assessed with diffusion tensor MRI. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33(4), 393–406. <https://doi.org/10.1111/sms.14283>
 48. Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C. in Opar, D. A. (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1524–1535. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095362>
 49. Timmins, R. G., Filopoulos, D., Nguyen, V., Giannakis, J., Ruddy, J. D., Hickey, J. T., Maniar, N. in Opar, D. A. (2021). Sprinting, Strength, and Architectural Adaptations Following Hamstring Training in Australian Footballers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(6), 1276–1289. <https://doi.org/10.1111/sms.13941>
 50. Timmins, R. G., Ruddy, J. D., Presland, J., Maniar, N., Shield, A. J., Williams, M. D. in Opar, D. A. (2016). Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(3), 499–508. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000795>
 51. Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C. in Opar, D. A. (2015). Biceps femoris long head architecture: a reliability and retrospective injury study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(5), 905–913. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000507>
 52. Timmins, R. G., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C. in Opar, D. A. (2016). Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1467–1472. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094881>
 53. Van Hooren, B. in Bosch, F. (2017). Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part II: Implications for exercise. *Journal of Sports Sciences*, 35(23), 2322–2333. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1266019>
 54. Yeung, S. S., Suen, A. M. Y. in Yeung, E. W. (2009). A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *British Journal of Sports Medicine*, 43(8), 589–594. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.056283>

dr. Žiga Kozinc, doc.,
Univerza na Primorskem,
Fakulteta za vede o zdravju
ziga.kozinc@fvz.upr.si