

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Filip M. Kojić

**Uticaj dve različite varijante tempa i ritma izvođenja
vežbi sa opterećenjem na morfološke i kontraktilne
adaptacije mišića**

doktorska disertacija

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Filip M. Kojić

**Influence of two different variants of tempo and
rhythm of resistance exercise on morphological and
contractile adaptations of muscles**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021.

Informacije o mentoru i članovima komisije

MENTOR:

1. dr Stanimir Stojiljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

KOMENTOR:

1. dr Vladimir Ilić, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

ČLANOVI KOMISIJE:

1. dr Igor Ranisavljev, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

2. dr Sanja Mandarić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja

3. dr Dejana Popović, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Farmaceutski fakultet

Datum odbrane: _____

Izjava zahvalnosti

Izuzetnu zahvalnost dugujem mentorima prof. dr Stanimiru Stojiljkoviću i prof. dr Vladimiru Iliću, na nesebičnom deljenju znanja i svrsihodnoj pomoći u realizovanju samog eksperimenta i pisanja doktorske disertacije. Njihovi saveti, sugestije i konstruktivne kritike su oblikovali ovu disertaciju ovakvom kakva jeste.

Specijalnu zahvalnost upućujem dr Slobodanu Obradoviću i dr Dušanu Ćosiću, koji su omogućili da se ultrazvučna dijagnostika sprovede. Bez njihovog aktivnog učešća ovako zahtevan eksperiment ne bi mogao da se realizuje.

Zahvalnost dugujem i svim ispitanicima, koju su odvojili svoje slobodno vreme da učestvuju u ovom istraživanju. Moram da naglasim da njihova angažovanost i motivacija ni na jednoj sesiji nije bila upitna i zbog toga im veliko hvala.

Na kraju, disertaciju posvećujem svojim sinovima Luki i Vanji, supruzi Sandri, kao i roditeljima Milisavu i Danici. Supruzi dugujem i veliku zahvalnost na razumevanju na moje često odsutne sate u pripremi i realizaciji istraživanja, kao i na pozitivnom duhu i podršci koji su u određenim momentima bili od neprocenjive vrednosti. Posebna posveta se odnosi na moju majku Danicu, koja je verovala u mene, kada sam i sam sumnjao, koja je bila pravi vetar u leđa i zahvaljujući kojoj se nalazim ovde gde sam sada. Podigla si lestvicu roditeljstva na još jedan, viši nivo i iskreno se nadam da sam te učinio ponosnom.

Uticaj dve različite varijante tempa i ritma izvođenja vežbi sa opterećenjem na morfološke i kontraktilne adaptacije mišića

Sažetak: Trening sa opterećenjem, koga karakterišu ekscentrična (eks), izometrijska (izo) i koncentrična (kon) faza, ima najširu primenu u sportu i rekreaciji, i sam njegov dizajn zavistan je od trenažnih varijabli. Varijable kao što su tempo (ukupno trajanje jednog ponavljanja) i ritam (trajanje svake faze u sekundama) su, u dosadašnjim studijama, često zanemarivane, ali ipak, postoje osnovane indikacije da se njihovim manipulisanjem može izazvati značajno različit morfološki i funkcionalni odgovor skeletnog mišića. S tim u vezi, postavljeni su sledeći ciljevi istraživanja: (i) uporediti uticaj dva različita tempa i ritma izvođenja vežbi sa opterećenjem, koja se razlikuju u trajanju ekscentrične faze, na trenažne varijable vreme pod tenzijom (TUT) i obim treninga; (ii),(iii) uporediti uticaj dva različita tempa i ritma izvođenja vežbi sa opterećenjem, koja se razlikuju u trajanju ekscentrične faze, na veličinu i jačinu (jedno maksimalno ponavljanje – 1RM) fleksora u zglobu lakta i ekstenzora u zglobu kolena; (iv),(v) uporediti uticaj dva različita tempa i ritma izvođenja vežbi sa opterećenjem, koja se razlikuju u trajanju ekscentrične faze, na kontraktilna svojstva fleksora u zglobu lakta i ekstenzora u zglobu kolena; (vi) ispitati povezanost između promena u veličini i kontraktilnim svojstvima testiranih mišića.

Uzorak je činilo 20 studenata Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja (9 žena i 11 muškaraca, uzrast: $24,1 \pm 1,7$ godina, telesna visina: $1,75 \pm 0,08$ m, telesna masa: $70,4 \pm 12,3$ kg), koji su slučajnim izborom raspoređeni u jednu od dve eksperimentalne grupe koje su se razlikovale u tempu i ritmu treninga: FEG – „brza“ eksperimentalna grupa (1 eks/ 0 izo/ 1 kon/ 0 izo) i SEG – „spora“ eksperimentalna grupa sa produženim trajanjem ekscentrične kontrakcije (4 eks/ 0 izo/ 1 kon/ 0 izo). Trenažnu intervenciju predstavljale su vežbe Biceps pregib na Skotovoj klupi i Paralelni čučanj, koje su sprovedene u periodu od 7 nedelja, 2 puta sedmično. Opterećenje (60-70% RM), broj serija (3-4) i trajanje pauze (120 s) su bili identični za obe grupe, dok su ponavljanja izvođena do pojave mišićnog otkaza ili do momenta kada nije mogao da se održi zadati ritam.

U inicijalnom i finalnom merenju, ultrazvučnom dijagnostikom procenjena je debljina mišića biceps brachii (BB), kao i poprečni presek (PP) mišića rectus femoris (RF), vastus intermedius (VI), medialis (VM) i lateralis (VL). Mišićna jačina procenjena je na osnovu testa jednog maksimalnog ponavljanja (1RM test), dok su kontraktilna svojstva mišića BB-a, RF-a i VL-a procenjena tenziomigrafskom metodom (TMG) i to za parametre radialno pomeranje mišića (Dm) i vreme kontrakcije (Tc). Dodatno, ukupno vreme pod tenzijom (TUT) i obim treninga (broj serija x broj ponavljanja) su izračunati u toku prve nedelje eksperimenta.

TUT je bio značajno veći kod SEG u odnosu na FEG za vežbu Biceps pregib i Paralelni čučanj ($p < 0,01$), dok je, obratno, obim treninga bio veći kod FEG ($p < 0,01$). Mišićna jačina se značajno više povećala kod SEG u odnosu na FEG za vežbe Biceps pregib ($F [1,17] = 8,60$, $p < 0,01$) i Paralelni čučanj ($F [1,17] = 5,31$, $p < 0,05$). Obe eksperimentalne grupe su značajno povećale veličinu mišića BB ($p < 0,01$), RF ($p < 0,05$), VI ($p < 0,05$) i VM ($p < 0,05$), bez značajnih razlika između grupa. Povećanje dimenzija VL-a je bilo značajno veće kod SEG u odnosu na FEG ($F [1,14] = 6,77$, $p < 0,05$). Redukovanje vrednosti parametra Dm za mišiće BB ($p < 0,01$) i RF ($p < 0,05$) je bilo evidentno kod obe eksperimentalne grupe, bez razlika između njih. Kod SEG, trenažna intervencija je dovela do

povećanja parametra Tc za mišiće RF ($p < 0,01$) i VL ($p < 0,05$). Takođe, uočena je značajna negativna povezanost između apsolutnih promena u debljini mišića BB-a i parametra Dm ($r = - 0,763$, $p < 0,01$).

Prezentovani rezultati promovisu praktikovanje sporijeg tempa treninga sa opterećenjem, odnosno produženog trajanje ekscentrične faze (4 s), za razvoj jačine mišića gornjih i donjih ekstremiteta. Sa druge strane, trajanje ekscentrične faze ima značajan uticaj na varijable TUT i obim treninga, ali to nije izazvalo različit hipertrofičan odgovor testiranih mišića, osim vastus lateralis-a gde se sporiji tempo u ritmu 4/0/1/0 pokazao kao superioran u odnosu na brži 1/0/1/0. Dalje, oba trenažna protokola su dovela do identične redukcije u vrednostima parametra Dm, dok je sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 izazvao povećanje vrednosti parametra Tc za mišiće nogu. Promene u parametru Dm su pokazatelji hipertrofije samo za mišić biceps brachii.

Ključne reči: hipertrofija, debljina mišića, poprečni presek mišića, jačina mišića, tenziomiografija

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije

UDK broj: 796.015.52:612.766(043.3)

Influence of two different variants of tempo and rhythm of resistance exercise on morphological and contractile adaptations of muscles

Summary: Resistance exercise, which is characterized by eccentric (ecc), isometric (iso) and concentric (con) phase, has broad application in sport and recreation, and its design itself depends on training variables. Variables such as tempo (total duration of one repetition) and rhythm (duration of each phase in seconds) are commonly neglected in literature, however there are well-founded indications that their manipulation can cause significantly different morphological and functional response of skeletal muscle. In this regard, the following research aims were set: *i*) to compare the influence of two different tempos and rhythms of resistance exercise, which differ in the duration of eccentric phase, on the training variables such as time under tension (TUT) and training volume; *ii*), *iii*) to compare the influence of two different tempos and rhythms of resistance exercise, which differ in the duration of eccentric phase, on the size and strength (one repetition maximum – 1RM) of the elbow flexors and knee extensors muscles; *iv*), *v*) to compare the influence of two different tempos and rhythms of resistance exercise, which differ in the duration of eccentric phase, on contractile properties of the elbow flexors and knee extensors muscles; *vi*) to examine the association between changes in the size and contractile properties of the tested muscles.

The sample consisted of 20 university students of the Faculty of sports and physical education (9 females and 11 males, age: 24.1 ± 1.7 years, body height: 1.75 ± 0.08 m, body mass: 70.4 ± 12.3 kg), who were randomly assigned to one of two experimental groups that differed in the tempo and rhythm of training: FEG - „fast“ experimental group (1 ecc/ 0 iso/ 1 con/ 0 iso) and SEG - „slow“ experimental group with prolonged duration of eccentric contraction (4 ecc/ 0 iso/ 1 con/ 0 iso). The training intervention were exercises Biceps curl on Scott's bench and Parallel squat, which were performed for a period of 7 weeks, 2 times a week. The intensity (60-70% RM), number of sets (3-4) and rest duration (120 s) were identical for both groups, while the repetitions were performed until muscle failure or until it was not possible to maintain a set rhythm.

In the initial and final measurement, ultrasound diagnostics was used to evaluate the thickness of biceps brachii (BB) muscle, as well as the cross-section area (CSA) of rectus femoris (RF), vastus intermedius (VI), vastus medialis (VM) and vastus lateralis (VL) muscles. Muscle strength was estimated based on the one-maximum repetition test (1RM), while the contractile properties of BB, RF and VL muscles were measured by the tensiomyographic method (TMG) for the parameters radial displacement (Dm) and contraction time (Tc). Additionally, total TUT and training volume (number of sets multiplied by number of repetitions) were calculated during the first week of the experiment.

TUT was significantly higher in SEG compared to FEG for both exercises, Biceps curl and Parallel squat ($p < 0.01$), while inversely the training volume was higher in FEG ($p < 0.01$). Muscle strength increased significantly more in SEG compared to FEG for both Biceps curl ($F [1,17] = 8.60$, $p < 0.01$) and Parallel squat ($F [1,17] = 5.31$, $p < 0.05$) exercises. Both experimental groups significantly increased the size of BB ($p < 0.01$), RF ($p < 0.05$), VI ($p < 0.05$) and VM ($p < 0.05$) muscles, without significant differences between the groups. The increase in VL dimensions was significantly higher in SEG compared to FEG ($F [1,14] = 6.77$, $p < 0.05$). The reduction of the Dm parameter values for BB ($p < 0.01$) and RF ($p < 0.05$) was evident in both experimental groups, with no differences between them. In SEG, the training intervention caused an increase in Tc parameter for RF ($p < 0.01$) and VL (p

< 0.05) muscles. Also, a significant negative correlation was observed between the absolute changes in BB muscle thickness and the parameter Dm ($r = - 0.763$, $p < 0.01$).

The presented results promote the use of a slower resistance exercise tempo, i.e. extended duration of the eccentric phase (4 seconds), for the development of muscle strength of the upper and lower extremities. On the other hand, the duration of the eccentric phase has significant effects on training variables TUT and training volume, however this did not cause a different hypertrophic response of the tested muscles, except for VL where a slower tempo in 4/0/1/0 rhythm appeared to be superior to the faster (1/0/1/0) one. Furthermore, both training protocols led to an identical reduction in the values of the parameter Dm, while a slower tempo in a 4/0/1/0 rhythm caused an increase in the parameter Tc for the leg muscles. Changes are indicators for hypertrophy only for the BB muscle.

Keywords: hypertrophy, muscle thickness, muscle cross-section, muscle strength, tensiomyography

Scientific field: Physical education and sport

Narrow scientific field: Science of physical education, sport and recreation

UDK number: 796.015.52:612.766(043.3)

Sadržaj:

1. UVOD	1
1.1 Skeletni mišić	1
1.2 Varijable treninga sa opterećenjem	4
1.3 Morfološke adaptacije skeletnog mišića	5
1.4 Kontraktilne adaptacije skeletnog mišića.....	8
1.4.1 Mišićna jačina.....	8
1.4.2 Tenziomiografija (TMG).....	9
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....	11
2.1 Uticaj tempa i ritma izvođenja na veličinu i 1RM mišića.....	11
2.2 Uticaj treninga sa opterećenjem na TMG parametre.....	13
3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	15
4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	17
5. METOD	18
5.1 Dizajn studije i protokol eksperimenta.....	18
5.2 Uzorak ispitanika.....	18
5.3 Procena jačine mišića	19
5.4 Procena veličine mišića	20
5.5 TMG dijagnostika.....	21
5.6 Trenažna intervencija	22
5.7 Statistička analiza	22
6. REZULTATI.....	24
6.1 Obim treninga i TUT.....	24
6.2 Debljina, 1RM i TMG parametri za mišić biceps brachii	25
6.3 Poprečni presek, 1RM i TMG parametri za mišiće kvadricepsa.....	27
7. DISKUSIJA	30
7.1 Uticaj tempa i ritma treninga na TUT i obim treninga.....	31
7.2 Uticaj tempa i ritma treninga na hipertrofiju i jačinu fleksora u zglobu lakta	31
7.3 Uticaj tempa i ritma treninga na hipertrofiju i jačinu ekstenzora u zglobu kolena	33
7.4 Uticaj tempa i ritma treninga na kontraktilna svojstva mišića gornjih i donjih ekstremiteta.....	34
7.5 Nedostaci istraživanja.....	35
8. ZAKLJUČAK	36

9. LITERATURA.....	39
BIOGRAFIJA AUTORA.....	50
PRILOZI	51

Skraćenice

1RM – jedno maksimalno ponavljanje

APP – anatomski poprečni presek

FPP – fiziološki poprečni presek

BB – biceps brachii

RF – rectus femoris

VI – vastus intermedius

VM – vastus medialis

VL – vastus lateralis

TMG – tenziomiografija

Tc – vreme kontrakcije

Dm – radijalno pomeranje

TUT – ukupno vreme pod tenzijom

FEG - „brza“ eksperimentalna grupa

SEG - „spora“ eksperimentalna grupa

TV – telesna visina

TM – telesna masa

BMI – indeks telesne težine

SMM – masa skeletnih mišića

PBF – procenat masnog tkiva

m – metar

kg – kilogram

mm – milimetar

ms – milisekunda

% - procenat

° - stepen

ANCOVA – analiza kovarijanse

ICC – interklasni koeficijent

r – Pirsonov koeficijent korelacije

VE – veličina efekta

Δ - promena između inicijalnog i finalnog merenja

1. UVOD

Fizička aktivnost, organizovana kao izotonični trening sa opterećenjem, predstavlja jedan od najčešće primenjivanih vidova vežbanja u sportu, rekreaciji, fizičkom vaspitanju, kao i u rehabilitaciji (Stojiljković, Mitić, Mandarić, & Nešić, 2012; Kraemer & Fleck, 2007; Višnjić, Jovanović, & Miletić, 2004). Praktikovanje ovakvog načina vežbanja dovodi do brojnih adaptivnih odgovora različitih organskih sistema, sa tim što se najočigledniji dešava u skeletnom mišiću, u kome dolazi do izrazitih strukturalnih (morfoloških) i funkcionalnih promena (Fry, 2004).

U morfološkom smislu, takve adaptacije se prvenstveno odnose na promene u veličini i arhitekturi mišića (Narici, Franchi, & Maganaris, 2016). Kada se govori o voljnim kontraktilnim adaptacijama, najčešće proučavano mehaničko svojstvo jeste mišićna jačina, u izotoničnim uslovima izražena kroz jedno maksimalno ponavljanje (1RM). Ipak, poslednjih godina sve veća pažnja se posvećuje nevoljnim mišićnim kontrakcijama i ispitivanju dijagnostičkih potencijala koje mogu imati u sportu i rehabilitaciji. Merni instrument, koji je često zastupljen u literaturi jeste tenziomiografija (TMG), pomoću kog se indentifikuju nevoljne kontraktilne karakteristike skeletnog mišića (Valenčić & Knez, 1997; Toskić, Dopsaj, Koropanovski, & Jeknić, 2016). Ipak, broj longitudinalnih istraživanja, koja su uključivala TMG parametre, je deficitiran. Stoga, sprovođenje eksperimentalne studije, koja bi pratila strukturalne i kontraktilne (voljne i nevoljne) promene mišića, pod uticajem treninga sa opterećenjem, bi dala jasniju informaciju o adaptativnim procesima u samom mišiću.

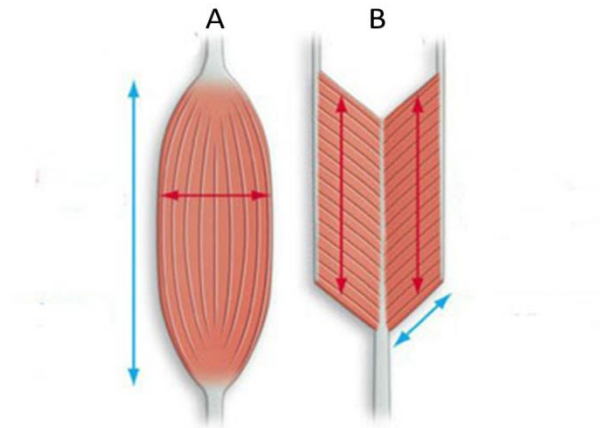
Kakav će morfo-funkcionalan odgovor mišića biti, zavisi od karaktera i veličine trenažnog stimulusa, koga određuju varijable trenažnog programa (Stojiljković i dr., 2012; Fleck & Kraemer, 2014). Varijable kao što su tempo, ritam i vreme pod tenzijom (TUT) su, u dosadašnjim studijama, često zanemarivane, ali ipak, postoje osnovane indikacije da se njihovim manipulisanjem može izazvati značajno različit morfološki i kontraktilni odgovor skeletnog mišića.

1.1 Skeletni mišić

Osnovna podela mišićnog sistema je na tri grupe: skeletni mišići, glatki mišići i srčani mišić. Za razliku od glatkih i srčanog mišića, koji su inervisani od strane autonomnog nervnog sistema, somatski nervni sistem je odgovaran za pokrete skeletnih mišića. U mehaničkom i metaboličkom smislu, uloga skeletnih mišića je esencijalna za čoveka. Omogućavanje kretanja, održavanje posture, deponovanje energetskih supstrata i učestvovanje u bazalnom metabolizmu, samo su neke od funkcija skeletnih mišića (Nikolić, 2003; Frontera & Ochala, 2015).

Skeletni mišić je građen od velikog broja mišićnih ćelija - mišićnih vlakana. Mišićna vlakna su među sobom odvojena vezivnom opnom - endomizijumom. Više grupisanih mišićnih vlakana obrazuje snopove, koji su obavijeni perimizijumom, dok je ceo mišić obavijen epimizijumom ili fascijom (McComas, 1996). Geometrijski raspored mišićnih vlakna, njihova dužina, kao i dužina mišićnog snopa određuje arhitekturu mišića, i u zavisnosti od nje razlikuju se dva osnovna tipa: vretenasti i perasti mišići (slika 1). Kod vretenastih mišića vlakna su postavljena paralelno sa dužinom prostiranja mišića i njihovi snopovi su duži, dok su kod perastih vlakna postavljena koso u polje, sa kraćim mišićnim snopovima (Ratamess, 2012; Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). Veličinu i arhitekturu mišića moguće je proceniti različitim dijagnostičkim instrumentima (ultrazvuk, magnetna rezonanca) i

metodama, izraženim kroz anatomski poprečni presek (APP), fiziološki poprečni presek (FPP) ili debljinu. Kod perastih mišića, kroz FPP moguće je odrediti ugao pripajanja i dužinu mišićnog snopa, kao glavnih komponenti mišićne arhitekture (Lieber & Friden, 2000; Athianinen, 2019).



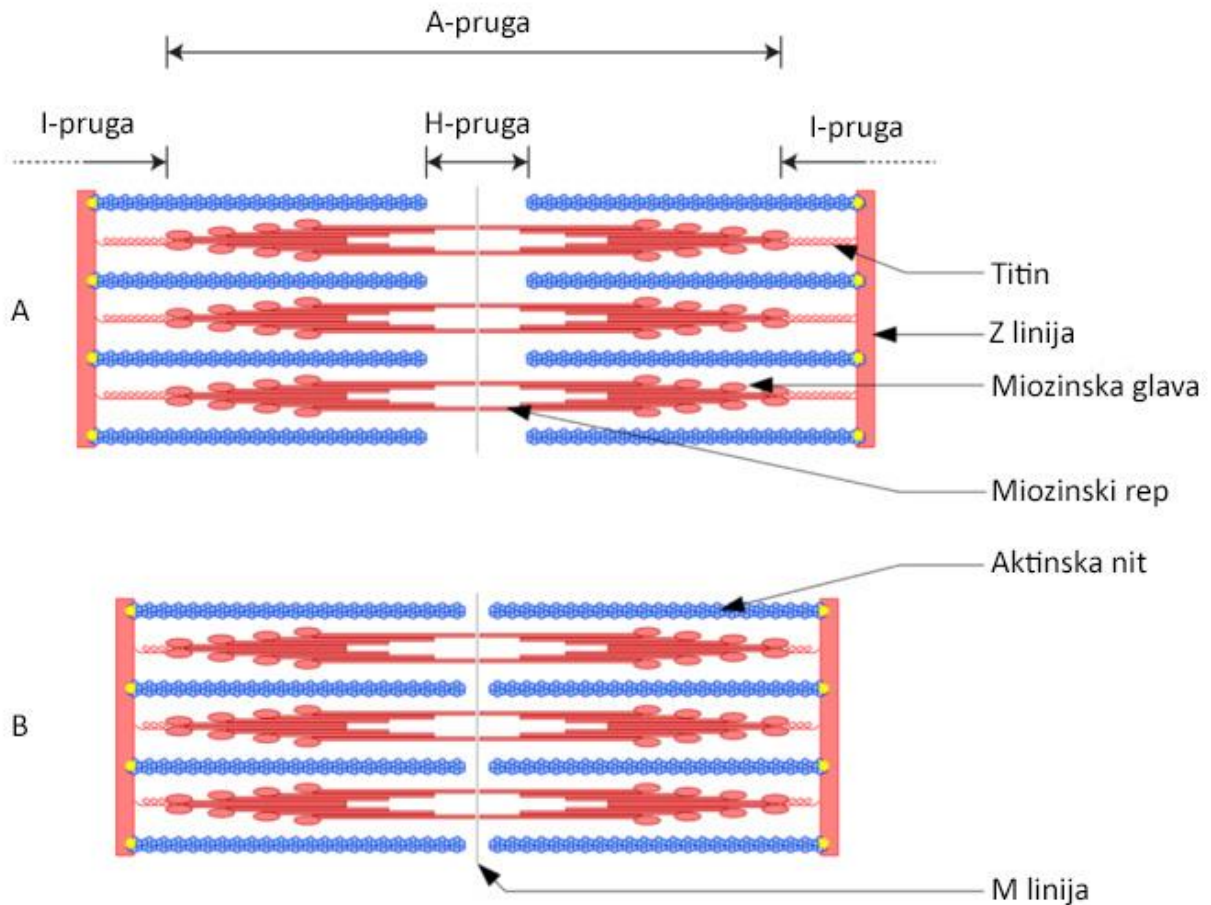
© 2014 Pearson Education, Inc.

Slika 1. Mišićna arhitektura; A – vretenasti mišić, B – perasti mišić (<https://o.quizlet.com>; 2014; modifikovano)

Ukoliko se zanemari prisustvo vode, mišićno vlakno je sačinjeno od oko 80% proteina (kontraktilnih, regulatornih i citoskeletnih) i 10% sarkoplazme. Mišićna ćelija je višejedarna, čime je omogućena velika proizvodnja proteina, stoga i ne čudi da se 50-75% ukupnih proteina u telu nalazi u skeletnim mišićima (Frontera & Ochala, 2014). Skeletni mišić se još naziva i poprečno-prugasti, zahvaljujući izgledu i rasporedu miofibrila, koje zauzimaju najveći prostor mišićnog vlakna. Tamnija pruga se naziva anizotropna ili A-pruga, dok se svetlija pruga naziva izotropna ili I-pruga. Sredinom I-pruge prolazi Z-linija. Kao glavne komponente svake miofibrile izdvajaju se proteinski filamenti: miozin kao debeli filament; aktin kao tanki filament, suplementiran regulatornim proteinima tropomiozinom i troponinom; i titin kao elastični filament (Kruger & Kotter, 2016). Strogo organizovani raspored miofilamenata, odnosno prostor između dve Z linije, formira sarkomeru, koja je osnovna strukturalna i funkcionalna jedinica mišićnog vlakna (Nikolić, 2003) (slika 2).

Primarno svojstvo skeletnih mišića jeste kontrakcija, kojom se omogućava kretanje. Generalno je prihvaćeno da se kretanje može objasniti teorijom klizajućih filamenata (Huxley, 1957). U osnovi procesa kretanja stoji kapacitet mišića da hemijsku energiju transformiše u mehanički rad. Naime, kada je mišićna ćelija stimulisana, dolazi do oslobađanja kalcijuma iz sarkoplazmatskog retikuluma. Kalcijum se vezuje za troponin, koji pomera tropomiozin, ostavljajući slobodno mesto za vezivanje na aktinu. Za oslobođeno mesto na aktinu se vezuje globuralna glavica miozina, stvarajući poprečni most. Uz pretpostavku da postoji dovoljno energije (adenozin trifosfata – ATP-a), miozin pomera tanki filament put unutra, potom ga pušta, i zatim se vezuje na sledeće slobodno mesto. Rezultat je generisanje aktivne, mišićne sile, koja se prenosi lateralno ili longitudinalno unutar vlakna, i njena veličina zavisna je od formiranih poprečnih mostova u datom trenutku. Postoje određene pretpostavke da i titin može biti značajan za proces kontrakcije, mada njegova uloga, još uvek, nije razjašnjena. Ono

što je sigurno je da svoju primarnu funkciju ispoljava tako što sprečava izduživanje sarkomere, generisanjem pasivne sile (Nishikawa et al., 2011).



Slika 2. Sarkomera u relaksiranom (A) i kontrahovanom (B) stanju; (<https://aurorascientific.com>; modifikovano)

Osnovna podela mišićne aktivnosti je na 2 tipa: statičku (izometrijsku) i dinamičku. Izometrijsku aktivnost karakteriše generisanje sile, ali bez kretanja u zglobovima ili ekstremitetima, dok kod dinamičke dolazi do stvaranja sile i kretanja. Dinamičke aktivnosti čine dve faze: koncentrična i ekscentrična. U koncentričnoj fazi dejstvom aktivnih sila, mišić se skraćuje i pripoji približavaju; u ekscentričnoj fazi mišić se izdužuje, pripoji udaljavaju, gde dolazi do dejstva pasivnih sila (Ratames et al., 2012). U ekscentričnoj fazi, sila kojoj mišić može da se suprotstavi je veća za nekih 20-60% u odnosu na koncentričnu (American College of Sports Medicine [ACSM], 2009), prvenstveno zahvaljujući ulozi elastičnog proteina titina prilikom izduženja mišića (Nishikawa et al., 2011). Treba napomenuti i postojanje izokinetičkih kontrakcija, odnosno onih kontrakcija kod kojih je brzina kontrolisana i konstantna. Za sprovođenje ovakvih kontrakcija potrebna je specijalizovana aparatura (Fleck & Kraemer, 2014).

U zavisnosti od brzine skraćanja, razlikujemo spora i brza mišićna vlakna, odnosno Tip I i Tip II mišićna vlakna. Tip I su sporo-oksidativna vlakna, crvene boje, koja pokazuju visok potencijal za suprotstavljanje zamoru. Tip II mišićnih vlakana su bele boje i razlikujemo dva podtipa: IIA i IIB, gde

su IIA brza-oksidativna vlakna, dok su IIB brza-glikolitička vlakna. Brza mišićna vlakna karakteriše veći sadržaj glikogena, što omogućava vršenje rada visokog intenziteta, ali su manje otporna na zamor u odnosu na spora vlakna (Nedeljković, 2016).

Posebna vrsta mišićnih ćelija jesu satelitske ćelije. To su prekursorske, neaktivne ćelije, koje se nalaze van membrane ćelijskog vlakna. Okidač za njihovu aktivaciju je oštećenje mišićnog vlakna, gde se one umnožavaju, dolaze do mesta oštećenja i spajaju sa postojećim mišićnim vlaknom. Njihova primarna uloga je regeneracija oštećenog mišićnog tkiva, prilikom povrede. Takođe, značajnu ulogu mogu imati i u procesu rasta mišića (Nikolić, 2003; Almeida, Fernandes, Ribeiro Junior, Keith Okamoto, & Vainzof, 2016).

Jedna od glavnih karakteristika skeletnog mišića je plastičnost, odnosno sposobnost da se adaptira na određeni stimulus. S tim u vezi, verovatno najpotentniji stimulus, koji izaziva značajne strukturalne i mehaničke promene u skeletnom mišiću, jeste trening sa opterećenjem.

1.2 Varijable treninga sa opterećenjem

Termini trening snage i trening (vežbanje) sa opterećenjem zajedno opisuju vid aktivnosti u kojima dolazi do kretanja mišićne mase nasuprot nekom otporu, koji može biti predstavljen u vidu samoopтереćenja ili spoljašnjeg opterećenja (Stojiljković i dr., 2012). Takve aktivnosti se, u zavisnosti od promene dužine mišića, klasifikuju u dva osnovna tipa: statički (izometrijski) i dinamički trening (Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Dinamički trening, koga karakterišu koncentrična i ekcentrična faza, ima najširu primenu u sportu i rekreaciji, i sam njegov dizajn zavistan je od trenažnih varijabli. Dosadašnja literatura (Stojiljković i dr., 2012; Howe, Read, & Waldron 2017; ACSM, 2009) prepoznaje sledeće varijable treninga sa opterećenjem:

- Intenzitet ili opterećenje - izraženo kao % jednog maksimalnog ponavljanja (1RM)
- Obim (broj serija x broj ponavljanja)
- Frekvencija - učestalost treninga u toku nedelje
- Pauza - trajanje odmora između serija ili između različitih vežbi
- Redosled vežbi
- Vrsta kontrakcija
- Amplituda pokreta - obim pokreta u zglobovima
- Tempo – broj ponavljanja (koncentrična + ekcentrična faza) u minuti
- Ritam - međusobni odnos trajanja ekcentrične, koncentrične i izometrijske faze pokreta
- Vreme pod tenzijom (TUT).

Treba naglasiti da su navedene varijable međusobno zavisne, odnosno da se akcentovanjem jedne, deluje na drugu (na primer povećanjem opterećenja smanjuje se obim, itd). Varijable kao što su tempo, ritam i vreme pod tenzijom, su u dosadašnjim studijama, često zanemarivane, ali ipak, postoje osnovane indicije da se njihovim manipulisanjem može izazvati značajno različit mišićni odgovor.

Tempo predstavlja broj ponavljanja u minuti (Mandarić, 2003). Na primer, kada jedno ponavljanje traje 2 sekunde (30 ponavljanja u minuti), to je duplo brži tempo nego kada ponavljanje traje 4 sekunde (15 ponavljanja u minuti). Iako se u muzici tempo definiše kao broj ponavljanja u minuti, za potrebe ovog istraživanja termin tempo se, kod treninga sa opterećenjem, prvenstveno odnosi na trajanje jednog ponavljanja ili repeticije u sekundama (Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2015; Davies, Kuang, Orr, Halaki & Hackett, 2017; Wilk, Tufano & Zajac, 2020). Stoga se termini tempo i trajanje repeticije mogu posmatrati kao sinonimi. Prema Wilk i saradnicima (2020), tempo treninga sa opterećenjem se klasifikuje: ≤ 4 s kao brz tempo; 5 – 9 s kao umereno (srednje) spor tempo; 10 – 14 s kao spor tempo; ≥ 15 s kao super-spor tempo. Ritam se odnosi na međusobni odnos trajanja pojedinih faza jednog ponavljanja (ekscentrična [s] / izometrijska [s] / koncentrična [s] / izometrijska [s]). Ritam 2/0/2/0 (ekscentrična i koncentrična kontrakcija traju po 2 sekunde), razlikuje se od ritma 3/0/1/0 (ekscentrična kontrakcija traje 3 sekunde, a koncentrična 1 sekundu), iako je kod obe varijante tempo isti – 15 ponavljanja u minuti. Tempo i ritam direktno utiču na TUT. TUT predstavlja ukupno trajanje vremena u kom se mišić suprostavlja opterećenju i zavistan je od varijabli tempo i ritam i obim treninga (broj serija x broj ponavljanja). U situaciji kada je broj serija konstantan, sporiji tempo ili veći broj ponavljanja povećavaju TUT, ipak kada se gledaju ove dve trenajne varijable, tempo značajnije određuje TUT (Schoenfeld et al., 2015, Wilk et al., 2020).

1.3 Morfološke adaptacije skeletnog mišića

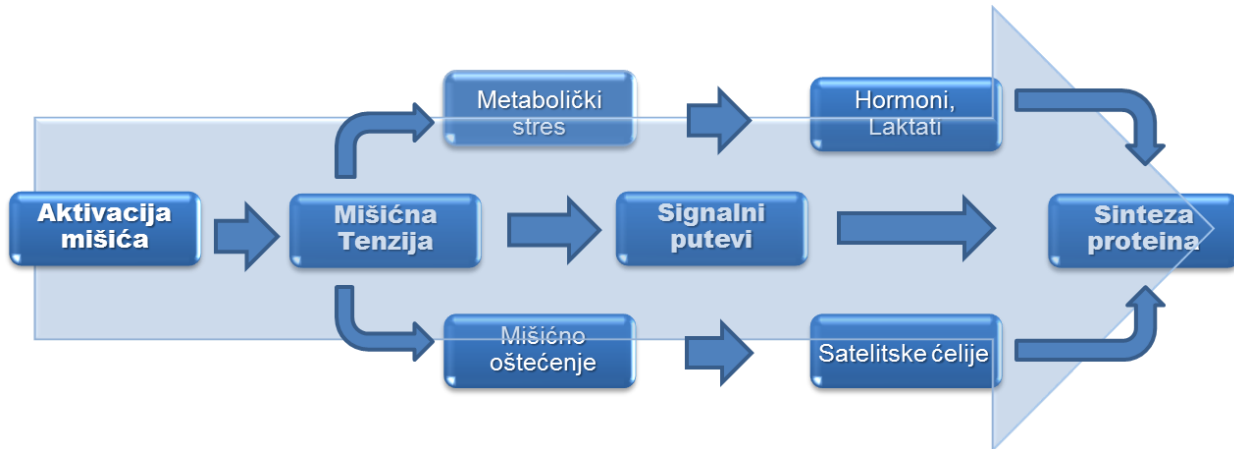
Povećanje veličine je najizraženija morfološka adaptacija mišića, i primetna je već nakon 3 nedelje praktikovanja treninga sa opterećenjem (Seynnes, de Boer, & Narici, 2007). Sam rast mišića uslovljen je odnosom između procesa sinteze i razlaganja proteina, i u slučaju da proces sinteze nadmaši proces razlaganja, mišić raste (Tipton & Wolf, 1998). Teorijski, povećanje veličine mišića se dešava kao posledica povećanja veličine mišićne ćelije - hipertrofije ili kao posledica povećanja broja mišićnih ćelija - hiperplazije (Bird, Tarpennig, & Marino, 2005). Postojanje hiperplazije kod ljudi, istraživači uglavnom odbacuju, mada postoje određene pretpostavke o njenom prisustvu kod životinja (Kelley, 1996).

Hipertrofija indukovana treningom je kompleksan i složen proces, koji zavisi od učešća različitih fizioloških sistema. Tačni mehanizmi koji dovode do rasta mišićne ćelije ostaju, relativno nepoznati. Međutim i pored toga, dosadašnja nauka izdvaja aktivnost signalnih puteva, satelitskih ćelija i anaboličkih hormona kao esencijalne u celom procesu (Spiering et al., 2008). Opšte prihvaćena hipoteza je da je primarni faktor odgovoran za započinjanje hipertrofičnog odgovora mehanička tenzija, a veliki broj autora izdvaja još dva - mišićno oštećenje i metabolički stres (Schoenfeld, 2010; Hedayatpour & Falla, 2015; Wackerhage, Schoenfeld, Hamilton, Lehti, & Hulmi, 2019) (slika 3).

Mehanički indukovana tenzija je produkt generisanja sile i izduženja mišića, i ona predstavlja esencijalni stimulus da mišić raste (Schoenfeld, 2010). Mehano-senzori su osetljivi na veličinu opterećenja, kao i na vreme koje se mišić suprostavlja tom opterećenju, i ovi stimulusi direktno utiču na aktivaciju intracelularnih signalnih puteva, koji imaju višestruku ulogu u mišićnoj hipertrofiji (Wackerhage et al., 2019). Signalni putevi (Akt/mTOR, MAPK, Ca-zavisni putevi), sa jedne strane direktno utiču na proces transkripcije i translacije proteina, dok sa druge strane deluju permisivno, odnosno potpomažu drugim anaboličkim agensima da ispolje hipertrofične efekte (Camera, Smiles, & Hawley, 2016; Schoenfeld, 2020).

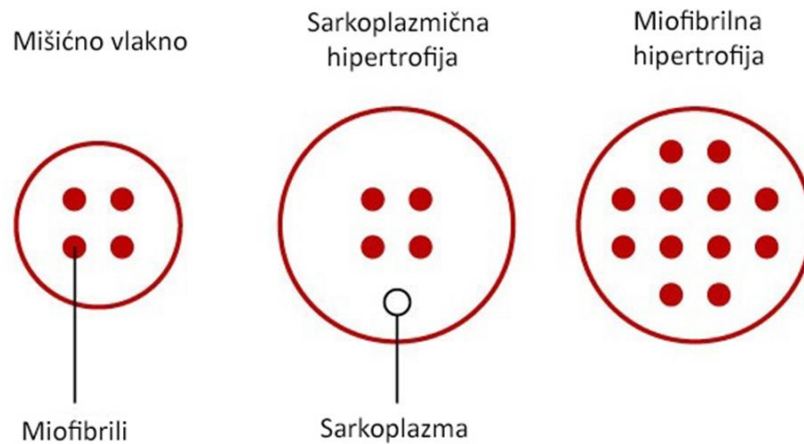
Trening sa opterećenjem može uzrokovati i lokalno oštećenje na mišićno tkivo stvarajući mikro-rupture, u kojem dolazi do imuno-inflamatornog odgovora i aktivacije satelitskih ćelija. Satelitske ćelije se fuzionišu sa oštećenim mišićnim vlaknom, donirajući ekstra jedro, čime se poboljšavaju kapaciteti za sintezu proteina postojeće mišićne ćelije (Vierick et al, 2000). Pojava mišićnog oštećenja se češće javlja prilikom ekscentričnih kontrakcija (Schoenfeld, 2012; Suschomel et al., 2019), a određena istraživanja (Chapman, Newton, Sacco, & Nosaka, 2006; Paddon-Jones, Keech, Lonergan, & Abernethy, 2005) ukazuju da je ovaj efekat posebno intenziviran prilikom izvođenja ekscentričnog treninga sa velikim brzinama izduženja mišića.

Metabolički stres predstavlja fiziološki proces prilikom vežbanja u anaerobno-glikolitičkim uslovima, u kojima dolazi do akumulacije metabolita (laktata, neorganskog fosfata, jona vodonika) u mišićnoj ćeliji. Takve okolnosti dovode do povećane koncentracije tečnosti u mišićnoj ćeliji, hipoksije i ekscitacije anaboličkih hormona, koje imaju značajnu ulogu u mišićnoj hipertrofiji (de Freitas, Gerosa-Neto, Zanchi, Lira, & Rossi, 2017; Goto, Ishii, Kizuka, & Takamatsu, 2005). Studije ukazuju na postojanje pozitivne korelacije metaboličkog stresa i vremena pod tenzijom, kao i da je mišić posebno osetljiv na ovu vrstu stresa prilikom sporijih kontrakcija (Goto et al., 2009; Gentil, Oliveira, & Bottaro, 2006).

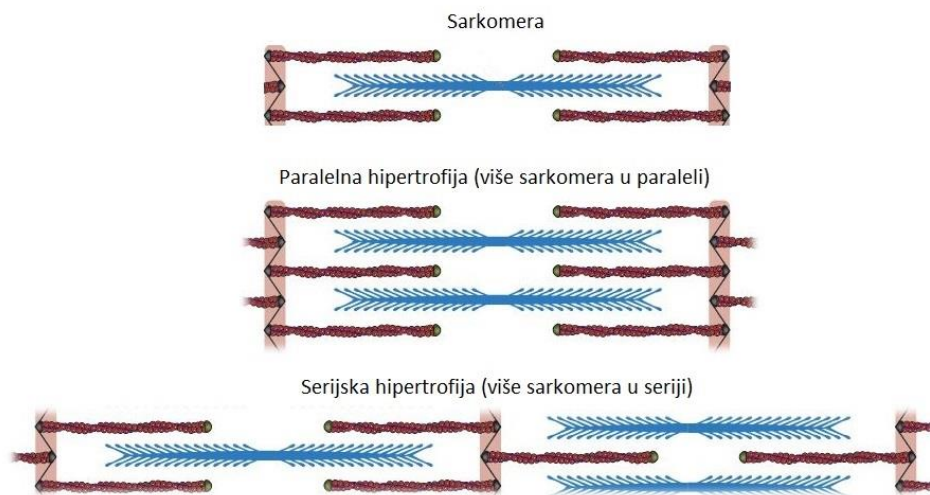


Slika 3. Uprošćen prikaz mehanizma mišićne hipertrofije

Prilikom hipertrofije, do rasta mišićnog vlakna dolazi povećanjem kontraktilnih elemenata ili povećanjem zapremine sarkoplazme (slika 4). Sarkoplazmatična hipertrofija se odnosi na povećanje nekontraktilnih elemenata (organele, kolagen, itd) i tečnosti, i ona ne dovodi do poboljšanja mehaničkih karakteristika mišića. Do kontraktilne hipertrofije dolazi dodavanjem sarkomera paralelno ili u serijama. Paralelno dodavanje sarkomera uzrokuje povećanje dijametra mišićnog vlakna, dok dodavanje u nizu dovodi do povećanja dužine (Schoenfeld, 2020) (slika 5). Ovakve promene u rastu mišića direktno utiču i na samu mišićnu arhitekturu. Dodavanjem sarkomera u nizu povećava se dužina mišićnog snopa, dok paralelno dodavanje uzrokuje veći ugao pripajanja ili povećanje poprečnog preseka mišića, zavisno od toga da li je mišić perast ili nije (Ema, Akagi, Wakahara, & Kawakami, 2016; Franchi, Reeves, & Narici, 2017).



Slika 4. Sarkoplazmatična i kontraktilna (miofibrilarna) hipertrofija; (<https://strengthweekly.wordpress.com>; *modifikovano*)



Slika 5. Paralelna i serijska hipertrofija; (preuzeto od Schoenfeld, 2016; *modifikovano*)

Veličina hipertrofičnog efekta zavisi od tipa vlakana, gde kod brzih mišićnih vlakana postoji 50% veći kapacitet za rast u odnosu na spora (Schoenfeld, 2020). Poštujući princip veličine (Henneman, Somjen, & Carpenter, 1965), elektromiografske (EMG) analize ukazuju da će do aktivacije motornih jedinica sa brzim vlaknima doći ukoliko se mišić suprotstavlja velikom opterećenju, pokret izvodi brzo ili do otkaza. Sa druge strane, određeni autori (Grgić et al., 2018) sugerišu da veći obim treninga i vreme pod tenzijom mogu dovesti do značajne hipertrofije sporih mišićnih vlakana, mada takva pretpostavka još uvek nije potvrđena u dosadašnjoj literaturi. Takođe, razlike u EMG aktivnosti postoje u odnosu na koncentričnu i ekscentričnu fazu, gde se pokazalo da je u ekcentričnoj broj aktiviranih motornih jedinica znatno manji (McHugh, Connolly, Eston, & Gleim, 2000; Douglas, Pearson, Ross, &

McGuigan, 2017). Smatra se da u ekscentričnoj fazi značajno veću ulogu ima centralni nervni sistem (CNS), što zahteva i veće kognitivno učešće (Kwon & Park, 2011), dok određeni autori (Shepstone et al., 2005; Schoenfeld, Ogborn, Vigotsky, Franchi, & Krieger, 2017) sugerišu da u istoj fazi postoji reverzibilni princip regrutovanja (regrutacija od većih ka manjim motornim jedinicama).

Sa aspekta mišićne hipertrofije, u dosadašnjoj literaturi najveća pažnja se posvećivala varijabli intenzitet treninga (opterećenje), i većina autora se slaže da ne postoje značajne razlike u uticaju između manjeg ($\leq 30\%RM$) i većeg opterećenja ($>60\%RM$) na hipertrofiju, ukoliko se ponavljanja izvode do mišićnog otkaza (Helms, Aragon, & Fitschen, 2014; Ozaki, Loenneke, Buckner, & Abe, 2016; Schoenfeld & Grgic, 2019). Takođe, kod početnika, frekvencija treninga 2-3 nedeljno deluje kao optimalna (Helms et al., 2014; Damas et al., 2019), dok broj serija, u toku jednog treninga, ne bi trebao biti manji od tri (ACSM, 2009; Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2017a). Za ostale varijable, među kojima su trajanje pauza, vrsta kontrakcija, amplituda pokreta, kao i tempo i ritam izvođenja, još uvek ne postoji jedinstven konsenzus mišljenja, u smislu da li se njihovim manipulisanjem može izazvati različit morfološki mišićni odgovor.

1.4 Kontraktilne adaptacije skeletnog mišića

Osnovna karakteristika mišićnog tkiva je mogućnost da se kontrahuje. Same mišićne kontrakcije mogu biti voljne ili nevoljne, odnosno one koje su pod uticajem svesne odluke ili bez. Radnje skeletnog mišića su voljnog karaktera, pa se i njegova kontraktilna svojstva, najčešće, procenjuju testovima koji se zasnivaju na voljnim kontrakcijama. Ipak, brojni dokazi (Valenčić & Knez, 1997) ukazuju da izazivanje nevoljnih kontrakcija, po principu elektrostimulacije, pruža značajne informacije o funkcionalnim karakteristikama skeletnog mišića. Obe dijagnostičke metode, po principu voljnih i nevoljnih kontrakcija, imaju svoje prednosti i nedostatke, zavisno od karakteristika koje se procenjuju, a njihova međusobna povezanost je, još uvek, stvar diskusije među istraživačima.

1.4.1 Mišićna jačina

Mehanička svojstva mišića određuju njegove performanse. Pod osnovnim mehaničkim svojstvima mišića podrazumevaju se sila, brzina i snaga (Zatsiorsky, 2000). Sila (F) je mehaničko svojstvo mišića koje je proučavano u brojnim istraživanjima. Pošto se F označava kao mehanička veličina, ona se u literaturi naziva i jačinom (Jarić & Kukolj, 1996).

Mišićna sila se može posmatrati kao mehaničko svojstvo ili motorička sposobnost. Mehanička svojstva mišića mogu se opisati relacijom sila-brzina, sila-dužina i sila-vreme (Jarić, 1997). Relacija sila-brzina opisuje promene u sili mišića u zavisnosti od brzine kontrahovanja mišića, odnosno da sila opada sa povećanjem brzine. Relacija sila-dužina govori kako sila mišića varira u zavisnosti od promene dužine mišića, i da je ona, generalno, najveća pri srednjim dužinama mišića. Relacija sila-vreme pokazuje koliko je vremena potrebno mišiću da razvije određeni nivo sile.

Sila (ili jačina), kao motorička sposobnost, podrazumeva naprezanje mišića u cilju savladavanja otpora ili suprostavljanja opterećenju. Pod pojmom maksimalna sila podrazumevamo sposobnost mišića da deluje velikim silama protiv velikog (maksimalnog ili submaksimalnog) opterećenja pri malim brzinama skraćanja ili u statičkim uslovima (Zatsiorsky, 1975). Maksimalna jačina se procenjuje

različitim testovima, koji mogu biti sprovedeni u izometrijskim, izokinetičkim ili izotoničnim uslovima. Često zastupljen test, u izotoničnim uslovima, jeste test jednog maksimalnog ponavljanja ili 1RM test. Smatra se da je maksimalna jačina mišića, izražena kroz 1RM, zavisna od veličine mišića, njegove arhitekture, kao i neuralne ili centralne komponente (Kraemer & Fleck, 2007). Generalno je poznato da sa povećanjem mišićne mase, raste i jačina. Kod početnika, inicijalni razvoj jačine se dešava zahvaljujući neuralnom učešću, dok tek nakon nekoliko nedelja dolazi i do hipertrofije mišića (Moritani & de Vries, 1979; Enoka, 1988). Mišljenja su podeljena da li primarnu ulogu u ispoljavanju jačine ima periferna (mišićna) ili centralna komponenta. Određeni autori smatraju da je neuralna komponenta značajniji prediktor jačine, sa 50% udela (ili nešto više) u ispoljavanju maksimalne sile (Narici, Roi, Landoni, Minetti, & Cerretelli, 1989; Folland & Williams, 2007). Broj aktiviranih motornih jedinica, njihova frekvencija pražnjenja, kao i sama međumišićna koordinacija predstavljaju važne neuralne faktore kada je mišićna jačina u pitanju (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011). Takođe, arhitektura u značajnoj meri određuje kontraktilne potencijale skeletnog mišića. Povećanje dužine mišićnog snopa, kao posledica dodavanja sarkomera u nizu, će poboljšati brzinske karakteristike mišića, dok će paralelni raspored sarkomera umnogome odrediti kapacitet mišića da ispolji silu (Ema, Akagi, Wakahara, & Kawakami, 2016).

Brojne studije ukazuju da je prilikom praktikovanja treninga sa opterećenjem, napredak u 1RM-u zavisna od trenaznih varijabli. Tako, veliki broj istraživanja ukazuje da je izvođenje treninga sa opterećenjem $\geq 70\%RM$, kada su ponavljanja izvođena do mišićnog otkaza, superioran za razvoj jačine (Fry, 2004; ACSM, 2009; Schoenfeld, Peterson, Ogborn, Contreras, & Sonmez, 2015a). Takođe, pauze bi trebalo da budu duže od 1 minut (Schoenfeld et al., 2016; Grgic, Lazinica, Mikulic, Krieger, & Schoenfeld, 2017), a optimalan broj serija se kreće u rasponu 1-3, u toku jednog treninga, i ne bi trebalo da bude veći od 15, u toku jedne nedelje (Schoenfeld et al., 2019; Amirthalingham et al., 2017). Za ostale varijable, među kojima su tempo, ritam i vreme pod tenzijom, ostaje otvoreno pitanje o njihovom uticaju na razvoj jačine mišića.

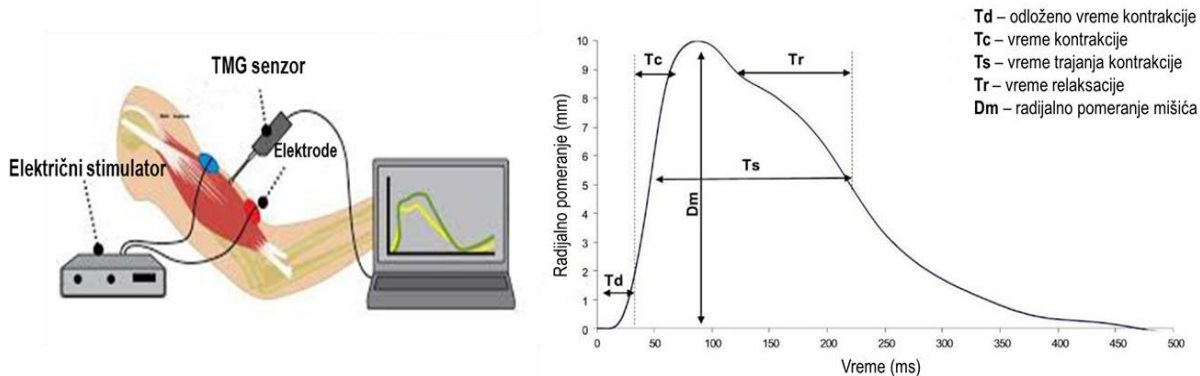
1.4.2 Tenziomiografija (TMG)

Nevoljne kontraktilne karakteristike mišića, moguće je proceniti različitim metodama (mehanomiografija - MMG, elektromiografija - EMG itd). Od 1990. godine, merni instrument, koji je često zastupljen u literaturi jeste tenziomiografija (TMG). TMG je neinvazivna metoda, koja funkcioniše po principu električne stimulacije i ne zahteva fizičko naprezanje ispitanika (García-García, Cuba-Dorado, Álvarez-Yates, Carballo-López, & Iglesias-Caamaño, 2019). Ona se bazira na proceni kontraktilnih karakteristika mišića, u izometrijskim uslovima, na osnovu pomeranja trbuha mišića, izazvanih elektrostimulacijom (Toskić, Dopsaj, Koropanovski, & Jeknić, 2016) (slika 6). Validnost i pouzdanost TMG-a, kao dijagnostičkog instrumenta, su potvrđene u brojnim studijama (Ditroilo, Smith, Fairweather, & Hunter, 2013; Macgregor, Hunter, Orizio, Fairweather, & Ditroilo, 2018; Šimunić, 2012).

TMG metodom moguće je odrediti sledeće kontraktilne parametre skeletnog mišića:

- Vreme kontrakcije (T_c) izraženo u ms - vreme potrebno da se dostigne od 10% do 90% maksimalnog pomeranja trbuha mišića;
- Vreme relaksacije (T_r) izraženo u ms - vreme potrebno da se kontrakcija vrati sa 90% na 50% maksimalnog pomeranja trbuha mišića;

- Vreme trajanja kontrakcije (T_s) izraženo u ms - vreme koje protekne od 50% od maksimalnog pomeranja trbuha mišića pri fazi kontrakcije do 50% od maksimalnog pomeranja trbuha mišića pri fazi relaksacije;
- Maksimalno radijalno ili vertikalno pomeranje trbuha mišića (D_m) izraženo u mm - maksimalno pomeranje trbuha mišića izazvano elektrostimulacijom;
- Odloženo vreme kontrakcije (T_d) izraženo u ms - vreme potrebno da se dostigne 10% maksimalnog pomeranja trbuha mišića;
- Brzina kontrakcije (V_c) izražena u m/s - odnos između maksimalnog pomeranja trbuha mišića sa vremenom i odloženim vremenom kontrakcije; $V_c = D_m / (T_c + T_d)$.



Slika 6. Tenziomiografija; (<http://www.redbackbiotek.com>; <https://www.frontiersin.org>; modifikovano)

Najveći broj autora ističe vreme kontrakcije (T_c) i radijalno pomeranje (D_m) kao dva najznačajnija TMG parametra. Parametar D_m se vezuje za mišićnu krutost (Macgregor, Hunter, Orizio, Fairweather, & Ditroilo, 2018; Hunter et al., 2012), kao i hipertrofiju/atrofiju mišića (Pišot et al., 2008). Sa druge strane, pokazano je da T_c može biti značajan pokazatelj mišićne kompozicije, odnosno da veće vrednosti navedenog parametra ukazuju na dominantnost vlakana tipa I (Dahmane, Djordjevič, Šimunič, & Valenčič, 2005; Šimunič et al., 2011). Šimunič i saradnici (2011) iznose i regresionu formulu, gde je na osnovu vrednosti parametara T_c , T_d i T_r , moguće izračunati procenat sporo-trzajnih vlakana za mišić vastus lateralis. Takođe, veliki broj studija ukazuje da je TMG pouzdano dijagnostičko sredstvo u indentifikaciji zamora mišića i mišićnog oštećenja. Povećana krutost (smanjen D_m), vreme kontrakcije (T_c) i relaksacije (T_r) indukuju da je mišić zamoren (Rey, Lago-Peñas, & Lago-Ballesteros, 2012; Macgregor, Ditroilo, Smith, Fairweather, & Hunter, 2016) ili da je došlo do pojave mišićnog oštećenja (Hunter et al., 2012). TMG je svoju primenu često imala kod sportista u posmatranju povezanosti nevoljnih sa voljnim mehaničkim karakteristikama mišića (Loturco et al., 2016; Toskić, Dopsaj, Stanković, & Marković, 2019; Loturco et al., 2018). Tako, Loturco i saradnici (2018) ispituju povezanost izotonične i izokinetičke jačine sa nevoljnim kontraktilnim karakteristikama mišića. Rezultati studije su pokazali da ne postoji značajna korelacija između testiranih varijabli, odnosno da TMG parametri nisu značajni prediktori mišićne jačine.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pregled dosadašnjih istraživanja će biti podeljen na dve celine. U prvoj celini će biti predstavljeni radovi u kojima je ispitivan uticaj tempa i ritma izvođenja treninga sa opterećenjem na veličinu i jačinu (1RM) mišića. U drugoj celini će biti predstavljeni radovi u kojima su ispitivane promene u TMG parametrima uzrokovane treningom sa opterećenjem. U ovaj pregled su uključene samo studije u kojima je opterećenje bilo konstantno, odnosno koje su sprovedene u izotoničnim uslovima.

2.1 Uticaj tempa i ritma izvođenja na veličinu i 1RM mišića

U dosadašnjoj literaturi, veliki broj studija je bio usmeren na praćenje indirektnih, akutnih pokazatelja mišićne hipertrofije (metabolički stres, mišićno oštećenje, EMG aktivnost), dok je broj studija u kojima su praćeni direktni i hronični pokazatelji mišićne hipertrofije (APP, FPP, debljina mišića) znatno manji. Brojne studije ukazuju da izvođenje ekscentričnog treninga, sa velikim brzinama kontrakcija, značajno doprinosi pojavi mišićnog oštećenja i da su na ovaj vid oštećenja, posebno osetljiva brza mišićna vlakna (Schoenfeld et al., 2012; Hedayatpour & Falla, 2015). Sa druge strane, u istraživanju Calixto i saradnika (2014), trening sa sporijim ekscentričnim kontrakcijama (3s), je doveo do povećanja koncentracije laktata i anaboličkih hormona, za koje se pretpostavlja da su indikatori metaboličkog stresa. Na slična saznanja ukazuju Wilk i saradnici (2018), kao i Sheikholeslami-Vatani, Ahmadi, Chehri, & Tadibi (2018), u čijim istraživanjima se pokazalo da izotonični trening izvođen u umereno sporom tempu, u ritmu (4/0/2/0) dovodi do značajno većeg stanja metaboličkog stresa, u odnosu na brži tempo i drugačiji ritam (1/0/1/0).

U velikom broju dosadašnjih studija, koje su posmatrale hronične adaptacije mišića, gledao se uticaj cele dužine repeticije, gde su koncentrična i ekscentrična faza kontrakcija trajale podjednako. Najčešće posmatrani mišići jesu m. biceps brachii (BB), kao i mišići kvadricepsa: m. rectus femoris (RF), vastus medialis (VM) i vastus lateralis (VL). Smatra se da varijabla tempo izvođenja, postaje naglo interesantna autorima nakon studije (Burd et al., 2012) u kojoj se pokazalo da povećano vreme pod tenzijom i praktikovanje sporog tempa treninga – 5 ponavljanja u minuti (u ritmu 6 s / 0 / 6 s / 0), pozitivno utiče na akutnu efikasnost sinteze proteina. Do sličnih saznanja se dolazi i u istraživanju Gumucio, Sugg, & Mendias (2015). Watanabe i saradnici (2013) iznose zaključak da sporiji tempo – 10 ponavljanja u minuti (u ritmu 3/0/3/0), uzrokuje značajno veći efekat na 1RM i veličinu kvadricepsa, u odnosu na brži tempo – 30 ponavljanja u minuti (u ritmu 1/0/1/0), kod starijih muškaraca. Nogueira i saradnici (2009), takođe za uzorak imaju starije muškarce, ali dolaze do drugačijih rezultata: brži tempo (15 ponavljanja u minuti), u ritmu 3/0/1/0, gde koncentrična kontrakcija traje 1 sekundu, doveo je do značajnije hipertrofije BB i RF, u odnosu na sporiji tempo (10 ponavljanja u minuti), u ritmu 3/0/3/0, gde koncentrična kontrakcija traje 3 sekunde. Grupa autora (2016) ispituje električnu aktivnost mišića, prilikom sporijih (3/0/3/0) i bržih (1/0/1/0) kontrakcija, u situaciji kada je TUT izjednačen (Lacerda et al., 2016). Autori zaključuju trend veće EMG aktivnosti prilikom bržeg izvođenja i većeg broja ponavljanja.

Schoenfeld i saradnici (2015), u meta-analizi, iznose stav da je izvođenje sporog i super-sporog treninga, kada repeticije traju preko 10 sekundi, inferiorno sa aspekta mišićne hipertrofije. Takođe, autori iznose zaključak sličnog hipertrofičnog odgovora kod trajanja repeticija između 0,5 i 8 sekundi, ali ipak i nedovoljnu istraženost uticaja različite kombinatorike trajanja koncentrične, ekscentrične ili izometrijske faze. Slična situacija se uočava i u pogledu razvoja jačine, gde Davies i saradnici (2017), u meta-analizi, zaključuju da brz i umereno spor tempo treninga izazivaju slične efekte na razvoj 1RM-a.

Međutim, ovaj sistematski pregled je većinom obuhvatio studije u kojima je trajanje svake faze trajalo podjednako ili je manipulirano samo koncentričnom fazom, s toga nema dovoljno podataka kako trajanje ekscentrične faze utiče na poboljšanje jačine.

Martins-Costa i saradnici (2016) ispituju uticaj dva različita tempa i ritma (4/0/2/0 i 1/0/1/0), prilikom izvođenja vežbe potisak sa grudi, na koncentraciju laktata i EMG aktivnost m. pectoralis major i m. triceps brachii. Kod oba izvođenja ukupan rad je bio izjednačen, s tim što je sporiji tempo podrazumevao i različit ritam - različito trajanje koncentrične i ekscentrične faze. Statistička analiza je utvrdila značajnu razliku u EMG aktivnosti oba mišića, kao i koncentraciji laktata u korist sporijeg tempa.

Pereira i saradnici (2016) su sproveli jedno od retkih istraživanja u izotoničnim uslovima, gde se gledao uticaj trajanja ekscentrične faze na poprečni presek m. biceps brachii i 1RM. Uzorak su činili muškarci (n=12), sa iskustvom u treningu sa opterećenjem, koji su bili raspoređeni u dve grupe, različite po tempu i ritmu izvođenja (1/0/1/0 i 4/0/1/0). Tretman je predstavljala vežba pregibanja bicepsa sa tegovima, gde su sve serije izvođene do otkaza i jednakim brojem ponavljanja (8RM). Mišićna debljina je procenjena na središnjem delu bicepsa, pomoću ultrazvuka, a statistička analiza je pokazala značajno veći efekat na povećanje mišića i 1RM-a, kod grupe koja je izvodila ponavljanja u sporijem tempu.

Botero, Oliveira, Schoenfeld, & de Azevedo (2018) primenjuju sličan dizajn, kao u prethodnoj studiji, samo je tretman predstavljala vežba nožne ekstenzije. Rezultati istraživanja su ukazali da je sporije izvođenje rezultiralo značajno većom hipertrofijom m. vastus medialis-a, dok za ostale mišiće prednje lože (RF i VL) nije bilo statistički značajne razlike.

Shibata, Takizawa, Nosaka, & Mizuno (2018) ispituju izvođenje čučnja sa različitim trajanjem ekscentrične faze i uticaj koji oni imaju na FPP kvadricepsa i 1RM. Uzorak su činili fudbaleri (n=22), raspoređeni u dve grupe, koje su se razlikovale u tempu i ritmu izvođenja (2/0/2/0 i 4/0/2/0). Opterećenje i vreme pod tenzijom je bilo približno isto za obe grupe (brža grupa je uradila više ponavljanja). Rezultati su pokazali isti efekat, kod obe grupe, na FPP kvadricepsa, dok se brži tempo, u ritmu 2/0/2/0, pokazao kao superiorniji kada je 1RM u pitanju.

Grupa autora (Mike et al., 2016), sa druge strane, iznosi zaključak da su rezultati u 1RM-u isti bez obzira na trajanje ekscentrične faze (dve, četiri ili šest sekundi). Ispitanike su činili muškarci (n=36), sa istorijom treninga sa opterećenjem. Uzorak je bio podeljen u tri grupe, koje su se razlikovale u tempu i ritmu izvođenja čučnja (2/0/2/0, 4/0/2/0 i 6/0/2/0). Analizom varijanse sa ponovljenim merenjem je utvrđeno da su sve grupe značajno poboljšale 1RM, ali bez značajnih razlika između njih. Uočeno je da je ritam 4/0/2/0, imao veći efekat na povećanje 1RM čučnja, u odnosu na ritmove 2/0/2/0 i 6/0/2/0, ali razlike između grupa nisu dostigle statističku značajnost.

Na osnovu navedenih studija, može se primetiti određena kontradiktornost u rezultatima. Različit eksperimentalni dizajn, karakteristike uzorka, kao i metode kojima su procenjivane veličine mišića predstavljaju otežavajuće okolnosti da bi se izveo opšti zaključak. Jedan od problema predstavljaju i kriterijumi na osnovu kojih su grupe, sa različitim brzinama kontrakcija, izjednačavane. Naime, određeni autori su grupe izjednačavali na osnovu ukupnog vremena pod tenzijom, drugi na osnovu ukupnog rada ili, pak, radom do otkaza. Uzimajući u obzir da se mišićni otkaz uzima kao najpotentniji stimulus za hipertrofiju, bez obzira na veličinu opterećenja (Helms et al., 2014; Ozaki, Loenneke, Buckner, & Abe, 2016; Schoenfeld & Grgic, 2019) može se zaključiti da bi izvođenje ponavljanja do momenta kada više nije moguće podići teret predstavljao najvalidniji kriterijum. Ipak i u takvoj situaciji se javlja problem, jer će kod bržeg tempa, poslednjih par repeticija, verovatno biti nešto

sporije. Stoga, moguće rešenje je da se ponavljanja izvode do momenta kada više nije moguće izvršiti kontrakciju (otkaz) ili zadati tempo izvođenja; na taj način će i brzina biti strožije kontrolisana.

S obzirom da je u ekscentričnoj fazi, sila kojoj mišić može da se suprotstavi veća za nekih 20-60% u odnosu na koncentričnu (ACSM, 2009; Carvalho et al., 2015), moguća pretpostavka je da se povećanjem opterećenja ili sporijim izvođenjem u ekscentričnoj fazi, može izazvati značajno veći mišićni rast i razvoj jačine. Ovakva pretpostavka se temelji na saznanjima da vreme pod tenzijom značajno utiče na sintezu proteina (Burd et al., 2012; Gumucio et al., 2015), kao i da sporije izvođenje u ekscentričnoj fazi dovodi do pojava indikatora metaboličkog stresa (Calixto et al., 2014; Wilk et al., 2018), koji je jedan od glavnih mehanizama u nastanku mišićne hipertrofije (Schoenfeld, 2010). U prilog navedenom, sporije ekscentrično delovanje (4 s) doprinelo je značajnijem povećanju poprečnog preseka (PP) m. biceps brachii (Pereira et al., 2016), ali za mišiće prednje lože, uglavnom, to nije bio slučaj. Ipak, poprečni presek kod fuziformnog mišića ili kod perastog mišića daje različite pokazatelje, kada je mišićna arhitektura u pitanju. Povećanje poprečnog preseka kod biceps brachii-a je direktno posledica dodavanja paralelnih sarkomera, dok je kod perastih proizvod dodavanja sarkomera i u nizu i paralelno. Stoga, može se pretpostaviti da sporije ekcentrično delovanje doprinosi mišićnom rastu, dodavanjem paralelnih sarkomera, i s obzirom da paralelni raspored u velikoj meri određuje mišićnu jačinu, i povećanju 1RM-a.

Specifična situacija je kod mišića prednje lože. U većini istraživanja merena je veličina samo jednog mišića ili ukupan PP celog kvadricepsa. Ipak, Antonio (2000); Wakahara, Fukutani, Kawakami, & Yanai (2013); Ema i saradnici (2016a); Kubo, Ikebukuro, & Yata (2019) ističu da kvadriceps ispoljava intervarijabilnost u mišićnoj hipertrofiji, odnosno da rast mišića, koji učestvuju u istom pokretu, nije homogen. Takođe, Hackett, Davies, Orr, Kuang, & Halaki (2018) u preglednom radu hipotetišu da tempo treninga sa opterećenjem može izazvati različite morfo-funkcionalne adaptacije mišića, u zavisnosti od arhitekture i kompozicije samog mišića. S toga, sprovođenje studije, u koju bi bile uključene mišićne grupe gornjih i donjih ekstremiteta, bi dala jasniju informaciju o efikasnosti manipulacije trajanja ekscentrične faze na adaptacione procese skeletnih mišića.

2.2 Uticaj treninga sa opterećenjem na TMG parametre

Određeni autori sugerišu da TMG dijagnostika može biti korišćena u detekciji hipertrofije/atrofije mišića, kao i promenama u mišićnoj kompoziciji. (Pišot et al., 2009) ispituju promene u debljini mišića, kao i parametrima Dm i Tc, pre i nakon perioda neaktivnosti (imobilizacije). Rezultati studije pokazuju da je smanjena debljina mišića, tokom neaktivnog perioda, bila praćena povećanjem vremena kontrakcije i smanjenjem krutosti. Autori su zaključili da navedeni parametri mogu biti validni pokazatelji promena u veličini mišića. Chai, Kim, Kim, Kim, & Bae (2016), iznose slične pretpostavke, koje zasnivaju na znatno manjim vrednostima Dm kod bodibildera, u odnosu na one koji ne praktikuju trening sa opterećenjem.

U dosadašnjoj literaturi, određen broj radova je pratio i efekte treninga sa opterećenjem na akutne i hronične adaptacije mišića, putem tenziomiografije. Tako, Garcia-Manso i saradnici (2012) ispituju promene u TMG parametrima nakon treninga sa opterećenjem. Ispitanici (n=16) su izvodili vežbu biceps pregib u dva različita protokola: prvi sa velikim opterećenjem i manjim brojem serija i ponavljanja (5x3x30 kg), drugi sa manjim opterećenjem i većim brojem serija i ponavljanja (8x15x10 kg). Rezultati su pokazali da su promene u parametrima Dm, Vc, Ts i Tr bile evidentne nakon svake serije i na kraju tretmana, kod oba protokola, sa određenim varijacijama između njih. Autori su

zaključili da je TMG validna i dovoljno osetljiva tehnika u prepoznavanju mišićnog odgovora kod treninga sa opterećenjem.

Grupa autora (Paula-Simola et al., 2015) istražuje povezanost zamora i TMG parametara prilikom izvođenja čučnja sa opterećenjem u pet različitim protokola: pliometrijski trening, izoinercijalni trening, trening sa povećanim opterećenjem u ekcentričnoj fazi, klasični trening izvođen u ritmu 2/0/1/0 i trening izvođen u ritmu 4/0/2/0. TMG analiza, za parametre Dm, Tc i Vc, sprovedena je na m. rectus femoris. Procena zamora mišića vršena je na osnovu maksimalne voljne izometrijske kontrakcije (MVIK) i koncentracije laktata (LA). Pirsonov koeficijent je pokazao postojanje značajne povezanosti smanjenja u MVIK i vrednosti Dm i Vc, odnosno da su navedeni TMG parametri pouzdani pokazatelji zamora mišića. Najveće vrednosti koncentracije LA, kao i najznačajnije smanjenje vrednosti Dm i Vc su zabeležene nakon izoinercijalnog protokola i protokola u ritmu 4/0/2/0.

Zubac & Šimunič (2017) sprovode studiju sa ciljem ispitivanja uticaja pliometrijskog treninga na visinu skoka sa počučnjem i parametre Dm i Tc. TMG analiza sprovedena je na mišićima vastus lateralis (VL), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA), gastrocnemius medialis (GM) i lateralis (GL). Nakon osam nedelja tretmana ispitanici ekperimentalne grupe (n=10) su značajno povećali visinu skoka. Kod istih ispitanika vrednost varijabe Tc se značajno smanjila za mišiće VL, BF, TA i GM, dok je smanjenje Dm bilo prisutno kod mišića BF, GL i GM. Takođe, putem regresione formule (Šimunič et al., 2011), %MHC-I se značajno smanjio za eksperimentalnu grupu, što indukuje hipertrofiju brzih mišićnih vlakana, pod uticajem ovakvog vežbanja.

Than, Tosovic, Seidl, & Brown (2016) ispituju promene u veličini mišića i kontraktilnim parametrima, merenim MMG metodom, pod uticajem treninga sa opterećenjem. Tretman je predstavljala vežba jednoručni biceps pregib, tako što su ispitanici (n=18) jednom rukom sprovodili tretman, dok je druga poslužila za kontrolu. Promene u kontraktilnim parametrima (Dm, Tc, Vc) i poprečnom preseku BB, praćene su tokom osam nedelja tretmana (faza hipertrofije) i osam nedelja nakon istog (faza atrofije). Rezultati su pokazali značajno povećanje krutosti i poprečnog preseka bicepsa u devetoj nedelji eksperimenta (faza hipertrofije). Sa druge strane, u periodu atrofije, bilo je evidentno smanjenje veličine mišića i povećanja vrednosti Dm (manja krutost). Autori iznose pretpostavku da promene u veličini mišića mogu biti praćene MMG metodom, konkretno parametrom Dm.

Dosadašnje studije ukazuju da je TMG metoda dovoljno senzitivna da detektuje kontraktilne promene mišića uzrokovane treningom sa opterećenjem. Ipak, postavlja se pitanje šta promene u TMG parametrima ukazuju, u praktičnom smislu. Kada su se pratili akutni efekti treninga, povećana mišićna krutost je posebno bila izražena nakon vežbanja sa sporijim ekcentričnim delovanjem i većim TUT-om. Takođe, određena istraživanja ukazuju da parametar Dm može biti pokazatelj promena u veličini mišića, odnosno da njegove smanjene vrednosti ukazuju na mišićni rast. Na osnovu malobrojnih istraživanja, deluje da izotonični trening, sa sporijim izvođenjem u ekcentričnoj fazi ima značajan efekat na parametar Dm, a time i na mišićnu hipertrofiju. Ipak, u dosadašnjoj literaturi, samo je jedna longitudinalna studija pratila promene u veličini mišića i parametra Dm, putem mehanomiografije, i to samo za jedan mišić (biceps brachii) (Than et al., 2016). Eksperimentalna studija koja bi obuhvatila promene u veličini različitih mišićnih grupa, i njihove promene u TMG parametrima, bi mogla dati odgovor da li vrednost Dm predstavlja značajan prediktor mišićne hipertrofije.

Sve navedeno indukuje da u dosadašnjim istraživanjima nije sprovedena eksperimentalna studija koja bi istražila uticaj treninga sa opterećenjem manipulacijom tempa i ritma, na veličinu i jačinu različitih mišićnih grupa, u situaciji kada su brzina i ritam izvođenja ponavljanja kontrolisani, i kada je sam efekat tretmana evaluiran praćenjem morfoloških i nevoljnih kontraktilnih karakteristika treniranih mišića.

3. PROBLEM, PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja je formiran na osnovu pregleda literature, analize rezultata i nedostataka dosadašnjih istraživanja i može se predstaviti kroz dva aspekta. Prvi aspekt se odnosi na promene u veličini i jačini mišića u zavisnosti od od tempa i ritma izvođenja treninga sa opterećenjem, odnosno vremena pod tenzijom. Drugi aspekt se odnosi na promene u kontraktilnim karakteristikama mišića (D_m i T_c), procenjenim tenziomiografijom, i njihovom povezanošću sa morfološkim promenama.

Predmet istraživanja su morfološke i kontraktilne adaptacije skeletnog mišića u zavisnosti od tempa i ritma izvođenja treninga sa opterećenjem.

U odnosu na problem i predmet postavljeni su i ciljevi istraživanja.

- Prvi cilj istraživanja je da ispita uticaj tempa i ritma treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze, na trenajne varijable - vreme pod tenzijom (TUT) i obim treninga (broj serija x broj ponavljanja).
- Drugi cilj istraživanja je da ispita uticaj tempa i ritma treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze, na veličinu i jačinu fleksora u zglobu lakta (m. biceps brachii-a).
- Treći cilj istraživanja je da ispita uticaj tempa i ritma treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze, na veličinu i jačinu opružača u zglobu kolena (m. rectus femoris, m. vastus lateralis, m. vastus medialis i m. vastus intermedius).
- Četvrti cilj istraživanja je da ispita uticaj tempa treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze, na nevoljne kontraktilne karakteristike m. biceps brachii, merene putem tenziomiografije.
- Peti cilj istraživanja je da ispita uticaj tempa treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze, na nevoljne kontraktilne karakteristike m. rectus femoris i m. vastus lateralis, merene putem tenziomiografije.
- Šesti cilj istraživanja je da ispita povezanost između promena u veličini mišića i tenziomiografskih parametara.

Zadaci koje bi trebalo sprovesti kako bi se realizovali postavljeni ciljevi istraživanja su sledeći:

- Formirati grupe ispitanika na osnovu postavljenih kriterijuma;
- Prikupiti antropometrijske i morfološke podatke;
- Proceniti maksimalno opterećenje (1RM) sa kojim može da se izvede vežba biceps pregib na Skotovoj klupi i paralelni čučanj, u inicijalnom i finalnom merenju;
- Proceniti debljinu m. biceps brachii, u inicijalnom i finalnom merenju;
- Proceniti poprečni presek m. rectus femoris, m. vastus lateralis, m. vastus medialis i m. vastus intermedius, u inicijalnom i finalnom merenju;

- Proceniti kontraktilna svojstva, putem tezniomiografije, za m. biceps brachi, u inicijalnom i finalnom merenju;
- Proceniti kontraktilna svojstva, putem tezniomiografije, za m. rectus femoris, m.vastus lateralis i m.vastus medialis, u inicijalnom i finalnom merenju;
- Primeniti trenažnu intervenciju u trajanju od 7 nedelja;
- Izračunati ukupan obim treninga (br. ponavljanja x br. serija) i vreme pod tenzijom za svakog ispitanika, u toku prve nedelje trenažne intervencije;
- Izvršiti statističku analizu dobijenih podataka;
- Prikazati i interpretirati dobijene rezultate;
- Izvući zaključke i dati preporuke za dalja istraživanja ovog problema.

4. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Na osnovu ciljeva i zadataka postavljene su sledeće hipoteze:

Hipoteza 1: Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, prouzrokuje značajno veće vreme pod tenzijom (TUT), u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze.

Hipoteza 2: Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja veličine i jačine fleksora u zglobu lakta (m. biceps brachii).

Hipoteza 2.1: Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veće povećanje veličine i jačine testiranog mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze.

Hipoteza 3: Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja veličine i jačine opružaća u zglobu kolena (mišića kvadricepsa).

Hipoteza 3.1: Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veće povećanje veličine i jačine testiranih mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze.

Hipoteza 4: Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja krutosti, odnosno smanjenih vrednosti parametra Dm, za m. biceps brachii.

Hipoteza 4.1: Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veću krutost testiranog mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze.

Hipoteza 5: Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja krutosti, odnosno smanjenih vrednosti parametra Dm, za m. rectus femoris i m. vastus lateralis.

Hipoteza 5.1: Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veću krutost testiranih mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze.

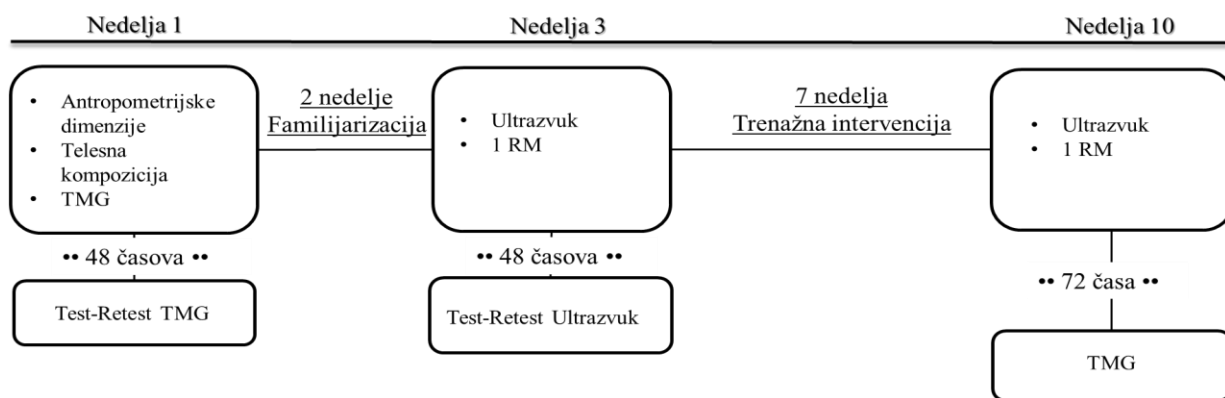
Hipoteza 6: Pretpostavlja da će postojati značajna povezanost između promena u veličini mišića i parametru Dm testiranih mišića.

5. METOD

5.1 Dizajn studije i protokol eksperimenta

Ispitanici su bili raspoređeni u jednu od dve eksperimentalne grupe, koje su se razlikovale u tempu i ritmu izvođenja treninga sa opterećenjem. FEG grupa je izvodila brze ekscentrične kontrakcije u ritmu 1 s ekscentrična / 0 s izometrijska / 1 s koncentrična / 0 s izometrijska faza, odnosno izvodila je trening u brzom tempu (30 ponavljanja u minuti, svako ponavljanje trajalo je po 2 s). SEG grupa je izvodila sporije ekscentrične kontrakcije u ritmu 4 s ekscentrična / 0 s izometrijska / 1 s koncentrična / 0 s izometrijska faza, odnosno izvodila je trening u srednje sporom tempu (12 ponavljanja u minuti, svako ponavljanje trajalo je 5 s). Trenažna intervencija je sprovedena 2 puta nedeljno, u trajanju od 7 nedelja. Samojoj trenažnoj intervenciji je prethodio period familijarizacije u trajanju od dve nedelje, pošto se smatra da je to optimalan period za savladavanje tehnike izabranih vežbi (Tanimoto et al., 2008; Watanabe et al., 2013). Procena veličine i jačine mišića je utvrđena 2 dana pre i nakon trenažne intervencije. Zbog visoke osteljivosti TMG parametara, TMG dijagnostika je sprovedena u toku prve nedelje eksperimenta (pre familijarizacije) i 5 dana nakon trenažne intervencije (Zubac & Šimunič, 2017) (slika 7). Obim treninga i vreme pod tenzijom su izračunati za svakog ispitanika u toku prve nedelje tretmana.

Ceo eksperimentalni tretman, kao i testovi za procenu mišićne jačine su sprovedeni u teretani Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja. Procena veličine mišića je realizovana u specijalizovanoj ordinaciji Studentske Poliklinike na Novom Beogradu, dok se TMG testiranje obavilo u dijagnostičko-trenažnom centru Advance Fitness.



Slika 7. Šematski prikaz eksperimentalnog protokola

5.2 Uzorak ispitanika

A priori veličina uzorka određena je pomoću softvera G-power (University of Kiel, Kiel, Germany, version 3.1) sa targetiranom veličinom efekta (VE) od 0.75 za netrenirane ispitanike, alfa nivoom (p) od 0,05 i snagom ($1-\beta$) od 0,8 (Rhea et al., 2004; Beck, 2013).

Uzorak je činilo 24 ispitanika, oba pola. Iz istraživanja je izuzeto četvoro ispitanika (3 žene i 1 muškarac) zbog neuspeha da završe sve trenažne sesije. Finalni uzorak je obuhvatio 20 volontera (11 muškaraca i 9 žena, uzrast: $24,1 \pm 1,7$ godina, visina: $1,75 \pm 0,08$ m, težina: $70,4 \pm 12,3$ kg) koji su

uspešno završili eksperimentalni protokol. Karakteristike uzorka, uključujući uzrast i morfološke pokazatelje za svaku eksperimentalnu grupu, su prikazane u tabeli 1. Između grupa nije bilo značajnih razlika ($p < 0,05$). Visina tela je određena pomoću prenosnog Martinovog antropometra (Siber-Hegner, Switzerland), sa tačnošću od 0,1cm. Varijable telesnog sastava izmerene su pomoću In-Body 720 aparata (Biospace Co., Seoul, Korea), primenom direktne segmentalne visokofrekventne analize bioelektrične impedanse (DSM–BIA method).

Ispitanici su bili studenti Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, koji ne praktikuju vežbanje sa opterećenjem, koji nisu profesionalni sportisti i koji nisu imali istoriju muskulo-skeletnih povreda gornjih i donjih ekstremiteta. Svi ispitanici su bili u potpunosti informisani o eksperimentalnoj proceduri u kojoj su učestvovali, kao i o mogućnostima potencijalnog rizika. Ispitanicima je sugerisano da se pridržavaju uobičajenog režima ishrane i da ne praktikuju korišćenje dodatne suplementacije. Studija je odobrena od strane Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja - Beograd (broj protokola: 2316/19-2) i bila je realizovana u skladu sa Helsinškom deklaracijom.

Tabela 1. Karakteristike uzorka

	FEG	SEG
Uzrast (godine)	24,5±2,2	23,6±0,92
TV (m)	1,78±0,07	1,72±0,08
TM (kg)	72,2±13,52	68,6±11,61
BMI (kg/m ²)	22,6±2,61	22,9±1,99
SMM (kg)	34,29±7,52	32,16±7,67
PBF (%)	15,34±6,61	17,62±7,98

TV- telesna visina; TM-telesna masa; BMI-indeks telesne mase; SMM-masa skeletnih mišića, PBF-procent masnog tkiva

5.3 Procena jačine mišića

Mišićna jačina procenjena je na osnovu testa 1RM, za vežbe biceps pregib na Skotovoj klupi i paralelni čučanj. Ispitanicima je sugerisano da ne praktikuju nikakav oblik fizičke aktivnosti minimum 48h pre testiranja. Procena 1RM-a je sprovedena prema standardnoj proceduri (Beachle & Earl, 2008). Ukratko, testu je prethodilo 10-minutno zagrevanje (lagano trčanje i vežbe oblikovanja), koje je praćeno sa 8-10 ponavljanja vežbe sa opterećenjem ~50%RM i 2-3 ponavljanja vežbe sa opterećenjem ~60-80% RM. Svaki ispitanik imao je 5 pokušaja da podigne najveću moguću težinu. Pauze između pokušaja su bile postavljene na 3 minuta (Schoenfeld et al., 2015).

Ispitanici su vežbu biceps pregib sprovodili u sedećem položaju, sa pazuhom i nadlakticama oslonjenim na jastuče kose Skotove klupe - ugao 45° (slika 8). Vežba se izvodila sa krivom (EZ) šipkom, podhvatom (položaj supinacije) i od ispitanika se zahtevalo da ostvare punu amplitudu pokreta. Visina klupe, na kojoj se sedi, je bila podešena tako da ispitanik celom površinom stopala bude oslonjen na tlo (Pinto et al., 2012).

Paralelni čučanj se izvodio sa ravnom šipkom, koja je postavljena iznad akromiona, sa pozicioniranjem stopala u širini ramena (slika 8). Vežba se u ekscentričnoj fazi izvodila do dubine kada su veliki

trohanter i lateralni epikondil postavljeni paralelno sa podom (da Silva et al., 2016; Earp, Newton, Cormie, & Blazevich, 2015). Koncentrična faza se izvodila do maksimalnog vertikalnog položaja.



Slika 8. Biceps pregib na Skotovoj klupi (levo) i Paralelni čučanj (desno)

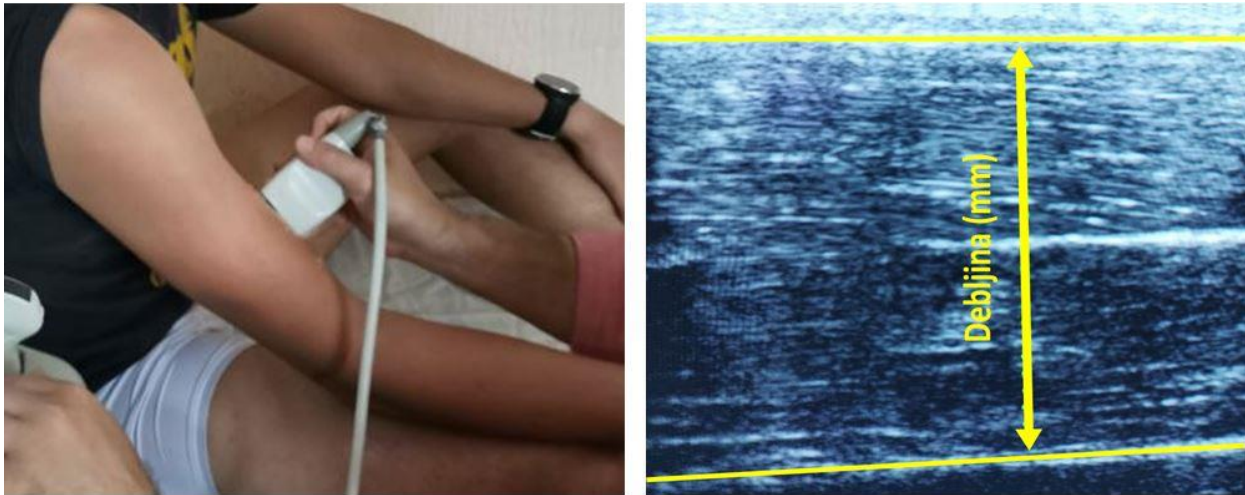
5.4 Procena veličine mišića

Veličina mišića je utvrđena ultrazvučnom dijagnostikom, pomoću aparata Siemens Antares (Siemens, Erlangen, Germany), koristeći dijagnostičku metodu 2D elipse, sa linearnom sondom 7.5 Mhz. Ultrazvučnom metodom je procenjena debljina fleksora u zglobu lakta - m. biceps brachii (BB), kao i poprečni presek (PP) ekstenzora u zglobu kolena - m. rectus femoris (RF), m. vastus lateralis (VL), m. vastus medialis (VM) i m.vastus intermedius (VI).

Za procenu veličine mišića BB ispitanici su bili u sedećem položaju, sa ispruženom dominantnom rukom, u položaju supinacije (slika 9). Debljina BB (mm) je merena na dve-trećine udaljenosti od akromiona do antekubitalne jame, prema proceduri Perkisas i saradnika (2018).

Anatomski poprečni presek četiri mišića kvadricepsa je meren prema proceduri Zhang, Ng, Lee, & Fu (2014). Poprečni presek za RF je meren u visini proksimalnog dela distalne trećine iznad muskulotendinoznog spoja. Poprečni presek za VI i VM je meren u visini distalnog okrajka neposredno iznad čašice, kao i vidljivi deo VL u distalnoj trećini ispod merenja nivoa m. rectus femoris.

Za svaki testirani mišić veličina je merena dva puta (u toku jednog testiranja), na osnovu čega se izračunala srednja vrednost. Ponovljivost merenja (test-retest) je uvrđena na 10 nasumično odabranih ispitanika u dva različita dana. Cela dijagnostička procedura je sprovedena od strane iskusnog specijaliste radiologije, koji ima minimum 10 godina iskustva rada u praksi.



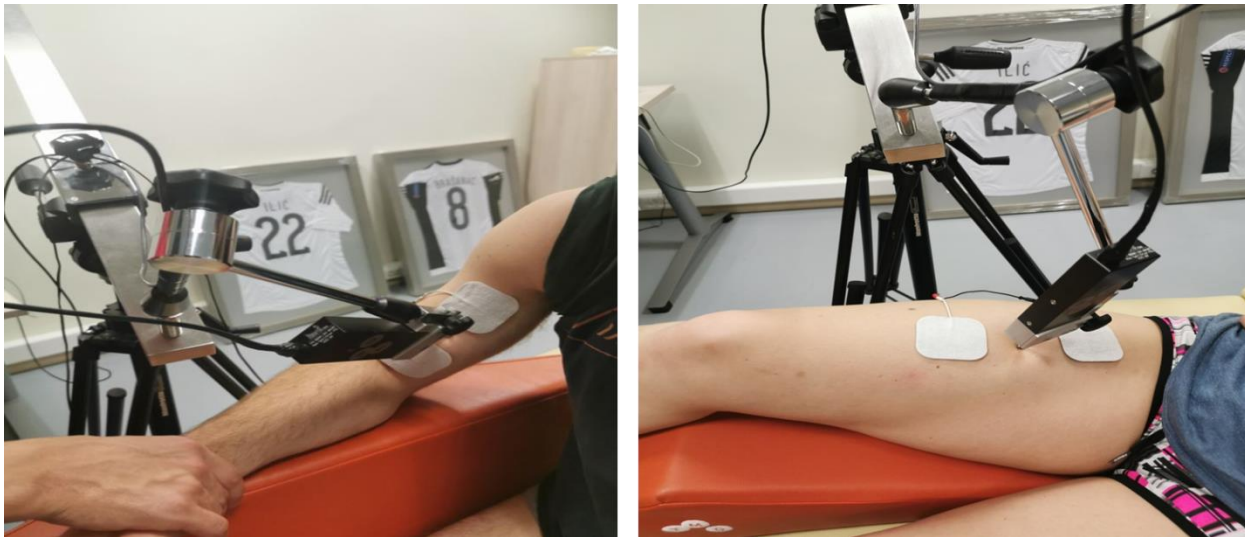
Slika 9. Procena debljine mišića biceps brachii ultrazvučnom dijagnostikom

5.5 TMG dijagnostika

Kontraktilne karakteristike mišića su procenjene metodom tenziomiografije (TMG-BMC, Ljubljana, Slovenia). Testiranje je obuhvatilo mišiće: biceps brachii (BB), rectus femoris (RF) i vastus lateralis (VL), dominantne noge.

Sva merenja su realizovana sa preporučenom preporukom proizvođača. Prilikom testiranja mišića BB, ispitanici su bili u sedećem položaju sa dominantnom rukom savijenom pod uglom od 90° u zglobu lakta (slika 10). Ispitivana ruka je postavljena na potporu, da bi se obezbedila neutralna pozicija ramena prilikom testiranja (Pišot et al., 2008, Garcia-Manso et al., 2012). Prilikom merenja mišića RF i VL, ispitanici su bili u ležećem položaju na leđima (slika 10). Testirana noga je bila postavljena na potporu, obrazujući ugao između potkolenice i natkolenice od približno 120° (Rey et al., 2012).

Od ispitanika je traženo da izvrše voljnu kontrakciju, kako bi se palpatornom metodom markirala tačka za postavljanje TMG senzora (Garcia-Manso et al., 2012). Proksimalno i distalno, na 3cm od markirane tačke, postavljane su dve samolepljive elektrode (Pals Platinum, model 895220 with multistick gel, Axelgaard Manufacturing Co. Ltd), koje emituju električni impuls. Između elektroda je postavljan senzor (GK40, Panoptik, Ljubljana, Slovenia) koji detektuje promene u mišiću izazvane električnom stimulacijom. Početni impuls iznosi 25 mA i on se proporcionalno povećava za 10mA, sve do maskimuma (do momenta kada mišić više ne reaguje na električni stimulus). Pauza između impulsa je bila 10 sekundi, da bi se mišiću obezbedilo dovoljno vremena da se relaksira (Hunter et al., 2012). Dva najbolja rezultata su bila sačuvana na osnovu kojih je softver izačunao srednju vrednost (Zubac & Šimunič, 2016). TMG testiranje je sprovedeno od strane iskusnih merilaca, koji imaju minimum pet godina radnog iskustva u praksi. Ponovljivost merenja (test-retest) je uvrđena na 10 nasumično odabranih ispitanika u dva različita dana.



Slika 10. TMG dijagnostika

5.6 Trenažna intervencija

Tretman za obe eksperimentalne grupe predstavljale su vežbe biceps pregib na Skotovoj klupi (Scott Bench-PA06, TechnoGym) i vežba paralelni čučanj sa šipkom, sa minimalnim razmakom od 48h između dva tretmana, koji su sprovedeni u približno isto doba dana. Razlike su se ogledale u tempu i ritmu izvođenja zadatih vežbi, manipulacijom trajanja ekscentrične faze. Trajanje repeticija bilo je kontrolisano uz pomoć metronoma. Opterećenje i broj serija su bili identični za obe grupe; u prve tri nedelje ispitanici su izvodili vežbu za opterećenjem od 60% RM u 3 serije, dok je u poslednje četiri nedelje opterećenje iznosilo 70% RM, u 4 serije. Sva ponavljanja su izvođena do momenta kada nije bilo moguće pravilno izvršiti kontrakciju (otkaz) ili zadati tempo. Trajanje pauza je iznosilo 2 minuta.

5.7 Statistička analiza

Svi podaci su obrađeni koristeći softverski paket IBM SPSS Statistics (version 20, SPSS Inc, Chicago, IL, USA). Ponovljivost merenja (test-retest) za ultrazvučnu i TMG dijagnostiku je utvrđena pomoću interklasnog koeficijenta korelacije (ICC). Pre analize podaci su bili provereni radi utvrđivanja normalnosti i odgovarajućih pretpostavki za svaki test. Za procenu normalnosti distribucije korišćen je Shapiro-Wilk test. Serije nezavisnih t-testova su sprovedene sa ciljem utvrđivanja razlika između grupa, u inicijalnom merenju. Homogenost varijanse i homogenost regresionih slopova su utvrđene Leveneovim testom i interakcijom između kovarijate i nezavisne varijable.

Razlike u broju ponavljanja svake serije, obimu treninga i vremenu pod tenzijom, između FEG i SEG, su utvrđene t-testom za nezavisne uzorke. Promene u veličini mišića, 1RM-u i TMG parametrima, za svaku eksperimentalnu grupu, su utvrđene t-testom za zavisne uzorke. Analiza kovarijanse za ponovljena merenja (ANCOVA držeći vrednosti pretesta kao kovarijatu) je korišćena za utvrđivanje razlika u testiranim varijablama, između FEG i SEG grupe. Ukoliko bi ANCOVA pokazala statističku značajnost, Bonferoni post-hoc test je korišćen za dalju procenu razlika između grupa. Dodatno,

ANCOVA je primenjena za utvrđivanje mogućih razlika između muškaraca i žena u promeni veličine testiranih mišića, 1RM-u i TMG parametrima (koristeći POL kao faktor između grupa i inicijalne vrednosti kao kovarijatu). Veličina efekta (VE) je određena uz pomoć G-Power softvera (University of Kiel, Kiel, Germany, version 3.1) na osnovu preporuka Rhea (2004) za netrenirane ispitanike; VE je smatrana trivijalnom ($<0,50$), malom ($0,50-1,25$), umerenom ($1,25-1,90$) i velikom ($>2,0$).

Za svakog ispitanika izračunata je razlika (Δ), između inicijalnog i finalnog merenja, za varijable Dm i debljina BB. Isti postupak primenjen je za mišiće RF, VL i VM. Za ispitivanje povezanosti navedenih razlika, korišćen je Pirsonov koeficijent korelacije.

Svi podaci su predstavljeni kroz srednje vrednosti \pm standardnu devijaciju, sa statistički značajnom determinantnom kada je $p \leq 0,05$.

6. REZULTATI

Obe dijagnostičke metode (ultrazvuk i TMG) su pokazale odličnu relijabilnost (ultrazvuk: ICC=0,992-0,997, CI=0,986-0,999, $p<0,01$; TMG parametar Tc: ICC=0,912-0,928, CI=0,713-0,982, $p<0,01$ i Dm: ICC=0,924-0,951, CI=0,804-0,988, $p<0,01$).

6.1 Obim treninga i TUT

Za vežbu biceps pregib na Skotovoj klupi, grupa sa bržim izvođenjem je ostvarila značajno veći obim treninga izražen ukupnim brojem ponavljanja u tri serije: 8,3 ponavljanja više ($p<0,01$). Posmatrano po serijama, broj ponavljanja je bio značajno veći u korist FEG u drugoj: 3,5 ponavljanja više ($p<0,01$); i trećoj seriji: 2,7 ponavljanja više ($p<0,05$). Sa druge strane, TUT je bio značajno, gotovo dvostruko, veći kod SEG ($p<0,01$) (tabela 2).

Tabela 1. Obim treninga (broj ponavljanja) i vreme pod tenzijom (sekunde) za vežbu Biceps pregib na Skotovoj klupi

	FEG	SEG
I serija (pon.)	14,2±2.3	12,1±2.6
II serija (pon.)	13,2±2,4**	9,7±2,2
III serija (pon.)	10,9±2,2*	8,2±2,0
Obim (zbir pon. u tri serije)	38,4±5,1**	30,1±6,3
TUT (s)	76,7±10,1	150,6±31,5**

*- ukazuje na značajne razlike između FEG i SEG ($p<0,05$);

** - ukazuje na značajne razlike između FEG i SEG ($p<0,01$)

Za vežbu paralelni čučanj, grupa sa bržim izvođenjem je takođe ostvarila značajno veći obim treninga: 8,2 ponavljanja više ($p<0,01$). FEG je ostvarila značajno veći broj ponavljanja u sve tri serije: u prvoj 2,6 ponavljanja više ($p<0,05$); drugoj 3,2 ponavljanja više ($p<0,01$) i trećoj 2,4 ponavljanja više ($p<0,05$). TUT je takođe bio značajno i gotovo dvostruko veći u korist SEG grupe ($p<0,01$) (tabela 3).

Tabela 3. Obim treninga (broj ponavljanja) i vreme pod tenzijom (sekunde) za vežbu Paralelni čučanj

	FEG	SEG
I serija (pon.)	14,5±2,1*	11,9±1,8
II serija (pon.)	13,1±2,6**	9,9±1,4
III serija (pon.)	11,1±2,7*	8,7±1,5
Obim (zbir pon u tri serije)	38,7±7,1**	30,5±4,0
TUT (s)	77,5±14,2	152,5±20,0**

*- ukazuje na značajne razlike između FEG i SEG ($p<0,05$);

** - ukazuje na značajne razlike između FEG i SEG ($p<0,01$)

6.2 Debljina, 1RM i TMG parametri za mišić biceps brachii

U inicijalnom merenju nisu uočene značajne razlike između eksperimentalnih grupa, za varijable debljina BB, 1RM i TMG parametre ($p>0,05$). Takođe, nisu uočene značajne razlike između muškaraca i žena u promenama testiranih varijabli ($p>0,05$) (tabela 4).

Tabela 4. Promene u veličini, 1RM i TMG parametrima za mišić biceps brachi u odnosu na pol

	MUŠKARCI		ŽENE		<i>p</i> (ANCOVA)	VE (ANCOVA)
	pre	post	pre	post		
Debljina (mm)	24,37±4,21	27,57±3,45**	15,29±1,51	18,93±1,86**	0,287	0,31
1RM (kg)	35,00±7,61	39,18±6,38**	17,11±3,99	22,33±4,09**	0,199	0,32
Dm (mm)	17,23±3,45	15,16±3,01**	16,65±1,83	14,46±1,65**	0,626	0,12
Tc (ms)	25,73±3,54	26,09±3,40	26,43±4,56	26,91±2,78	0,677	0,10

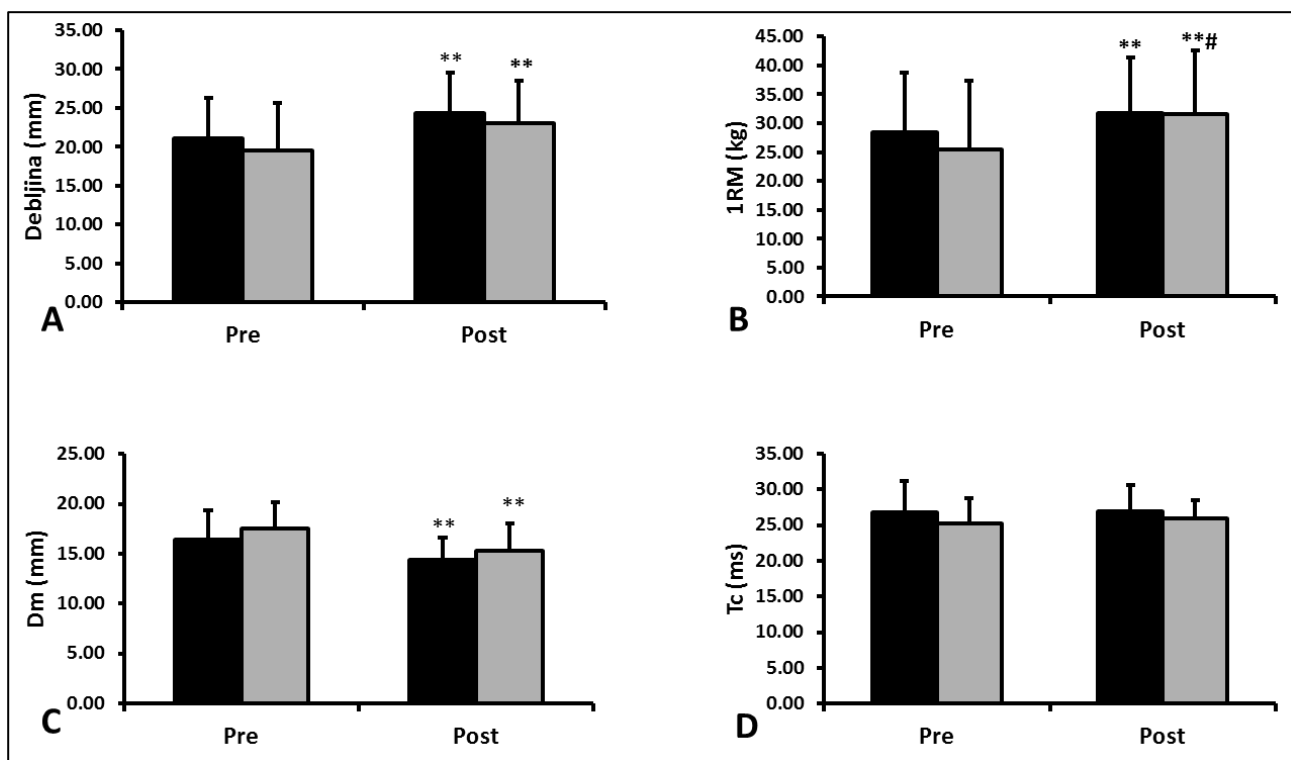
*- ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,05$); ** - ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,01$)

Trenažna intervencija je rezultirala značajnom povećanju debljine BB kod obe eksperimentalne grupe (FEG: povećanje od 3,24±2,01 mm, $p<0,01$, VE=1,61; SEG: povećanje od 3,57±1,17 mm, $p<0,01$, VE=3,03). Nisu uočene značajne razlike između grupa u finalnom merenju ($F[1,17]=0,05$, $p=0,825$, ES=0,17) (slika 11A).

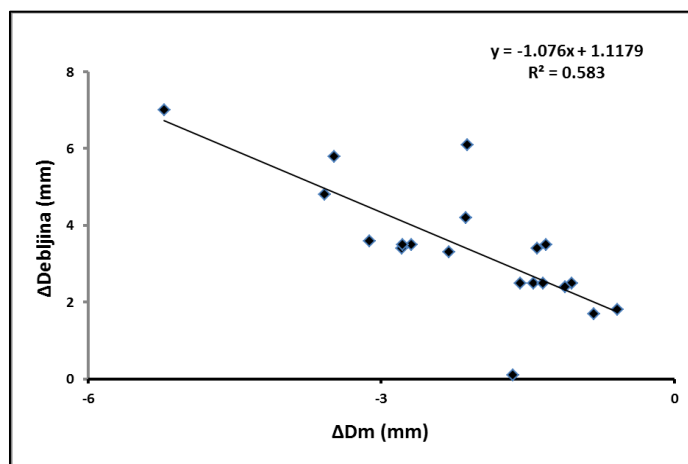
Obe eksperimentalne grupe su značajno povećale 1RM, za vežbu Biceps pregib na Skotovoj klupi, u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 3,30±2,26 kg, $p<0,01$, ES=1,45; SEG: povećanje od 6,00±1,76 kg, $p<0,01$, ES=3,33). Poboljšanje jačine je bilo značajno veće kod SEG, u odnosu na FEG ($F[1,17]=8,60$, $p<0,01$, ES=0,71) (slika 11B).

Obe eksperimentalne grupe su značajno smanjile vrednosti parametra Dm u odnosu na pretest (FEG: smanjenje od 1,99±1,20 mm, $p<0,01$, ES=1,54; SEG: smanjenje od 2,26±1,03 mm, $p<0,01$, ES=2,15), bez razlika između grupa ($F[1,17] = 0,01$, $p=0,912$, ES=0,10) (slika 11C). Vrednosti parametra Tc su ostale nepromenjene kod obe grupe (FEG: $p=0,780$; SEG: $p=0,501$) (slika 11D).

Takođe, uočena je značajna negativna povezanost između apsolutnih promena (Δ pretest-posttest) u debljini BB i parametru Dm ($r = -0,763$, Adj.R²=0,560, $p=0,000$) (slika 12).



Slika 11. Promene u veličini mišića biceps brachii (panel A - debljina), jačini (panel B - 1RM) i TMG parametrima (panel C - Dm i panel D - Tc) za FEG i SEG grupu; crni stubić – FEG, sivi stubić – SEG; *- značajne razlike između inicijalnog i finalnog merenja ($p < 0,01$); # - značajne razlike povećanja između SEG i FEG



Slika 12. Povezanost apsolutnih promena (Δ) u debljini i parametru Dm za mišić biceps brachii

6.3 Poprečni presek, 1RM i TMG parametri za mišiće kvadricepsa

Troje ispitanika (2 muškarca i 1 žena) je u toku eksperimenta doživelo povrede mišića donjih ekstremiteta (van okvira eksperimentalnog programa), s toga su obrađeni podaci za 17 ispitanika (n=17) kada su se posmatrale varijable za mišiće kvadricepsa.

U inicijalnom merenju nisu uočene značajne razlike između eksperimentalnih grupa, za varijable APP mišića kvadricepsa (RF, VI, VM, VL), 1RM i TMG parametre ($p>0,05$). Takođe, nisu uočene značajne razlike između muškaraca i žena u promenama testiranih varijabli ($p>0,05$) (tabela 5).

Tabela 5. Promene u veličini, 1RM i TMG parametrima za mišiće kvadricepsa u odnosu na pol

	MUŠKARCI		ŽENE		p (ANCOVA)	VE (ANCOVA)
	pre	post	pre	post		
APP QF (mm ²)	1428,9±223,0	1484,8±221,0**	1053,0±189,9	1119,5±194,6**	0,822	0,06
APP RF (mm ²)	383,67±79,93	395,67±75,62**	285,75±88,41	313,00±88,06*	0,395	0,23
APP VI (mm ²)	333,44±83,20	354,00±93,24**	204,00±43,41	215,81±59,85	0,553	0,16
APP VM (mm ²)	337,11±67,57	346,44±64,78**	242,00±36,75	257,25±39,75**	0,529	0,17
APP VL (mm ²)	374,67±72,45	388,67±69,49**	321,25±37,58	333,37±41,29**	0,559	0,16
1RM (kg)	114,44±17,58	126,11±16,73**	77,50±11,02	82,50±13,09**	0,090	0,48
Dm RF (mm)	10,53±2,84	8,61±2,87**	9,48±2,46	8,31±2,60*	0,389	0,24
Tc RF (ms)	26,21±2,65	27,81±6,03	27,32±3,82	28,10±3,85	0,784	0,08
Dm VL (mm)	6,69±2,48	5,71±1,40	6,54±1,86	6,20±1,86	0,243	0,32
Tc VL (ms)	21,37±2,09	21,97±3,40	23,13±4,18	24,23±2,54	0,310	0,28

APP - anatomski poprečni presek; 1RM - jedno maksimalno ponavljanje; Dm - radijalno pomeranje mišića; Tc - vreme kontrakcije; * - ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,05$); ** - ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,01$)

Trenažna intervencija je rezultirala značajnom povećanju ukupnog anatomskog poprečnog preseka kvadricepsa (APP QF) u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 57,7 mm², $p<0,01$, VE=1,66; SEG: povećanje od 63,7 mm², $p<0,01$, VE=1,52), bez razlika između grupa (F[1,14]=0,04, $p=0,838$, VE=0,05). APP RF (rektus femoris), se značajno povećao kod obe eksperimentalne grupe (FEG: povećanje od 21,4 mm², $p<0,05$, VE=0,85; SEG: povećanje od 17,2 mm², $p<0,05$, VE=1,02), bez razlika između grupa (F[1,14]=0,04, $p=0,846$, VE=0,05). Obe eksperimentalne grupe su značajno povećale APP mišića VI (vastus intermedius), u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 17,6 mm², $p<0,05$, ES=0,82; SEG: povećanje od 15,4 mm², $p<0,05$, ES=1,00), bez razlika između grupa (F[1,14]=0,001, $p=0,979$, VE=0,007). FEG i SEG su značajno povećale APP mišića VM (vastus medialis), u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 11,4 mm², $p<0,05$, VE=1,16; SEG: povećanje od 12,8 mm², $p<0,01$, VE=1,87), bez razlika između grupa (F[1,14]=0,053, $p=0,821$, VE=0,06). FEG i SEG su značajno povećale APP mišića VL (vastus lateralis), u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 7,4 mm², $p<0,01$, VE=1,37; SEG: povećanje od 18,2 mm², $p<0,01$, VE=1,74). ANCOVA je ukazala na značajno veće povećanje APP za mišić VL u korist SEG, u odnosu na FEG (F[1,14]= 6,77, $p=0,021$, ES=0,69) (tabela 6).

Obe eksperimentalne grupe su značajno povećale 1RM, u odnosu na pretest (FEG: povećanje od 5,6 kg, $p<0,05$, ES=0,99; SEG: povećanje od 11,1 kg, $p<0,01$, ES=1,60). Poboljšanje jačine je bilo značajno veće kod SEG, u odnosu na FEG ($F[1,17]=5,31$, $p<0,05$, ES=0,64) (tabela 6).

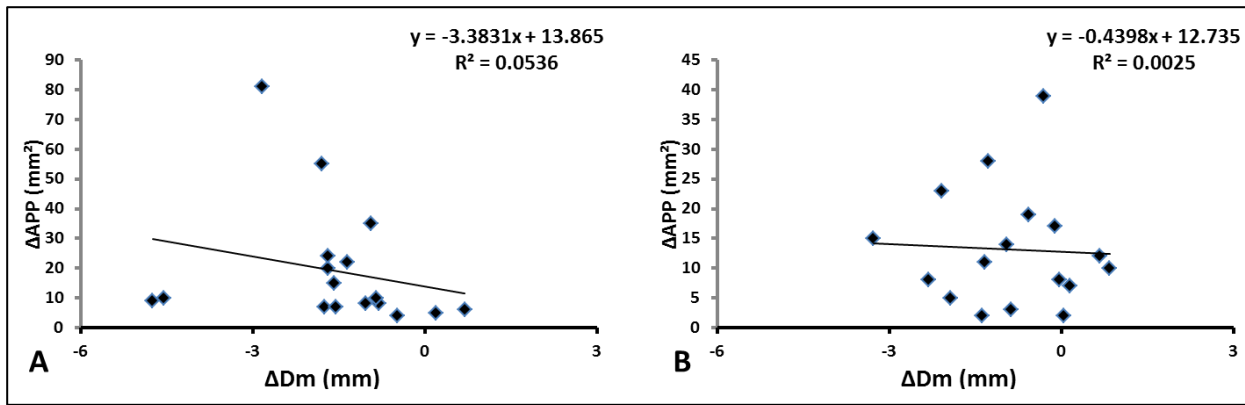
FEG i SEG su značajno smanjile vrednosti parametra Dm za mišić RF (rektus femoris), u odnosu na pretest (FEG: smanjenje od 1,6 mm, $p<0,05$, VE=1,07; SEG: smanjenje od 1,5 mm, $p<0,05$, VE=0,98), bez razlika između grupa ($F[1,17]=0,10$, $p=0,758$, VE=0,09). Vreme kontrakcije se značajno povećalo kod SEG (povećanje od 3,8 ms, $p<0,01$, VE=2,03), dok kod FEG smanjenje Tc nije dostiglo statističku značajnost (smanjenje od 1,6 ms, $p=0,355$, VE=0,35). ANCOVA analiza je ukazala na značajne razlike između grupa u promenama parametra Tc u odnosu na pretest kod mišića rektus femorisa: FEG je malo smanjila vreme kontrakcije, dok ga je SEG značajno povećala ($F[1,17]=8,82$, $p<0,01$, VE=0,82). Za mišić VL (vastus lateralis), trenazna intervencija nije doprinela značajnim promenama u parametru Dm (FEG: smanjenje od 0,9 mm, $p=0,076$, VE= 0,74; SEG: smanjenje od 0,4 mm, $p=0,388$, VE=0,32). Parametar Tc se značajno povećao kod SEG (povećanje od 2,2 ms, $p<0,05$, VE=1,33), dok kod FEG nije došlo do značajnih promena ($p=0,620$). ANCOVA analiza je ukazala na značajne razlike između grupa u promenama parametra Tc u odnosu na pretest kod mišića vastus lateralisa: FEG je malo smanjila vreme kontrakcije, dok ga je SEG značajno povećala ($F[1,17]=4,90$, $p<0,05$, VE=0,64) (tabela 6).

Pirsonov koeficijent korelacije nije ukazao na značajnu povezanost između apsolutnih promena (Δ pretest-posttest) u poprečnom preseku i parametru Dm za mišiće RF ($p=0,371$) i VL ($p=0,850$) (slika 13).

Tabela 6. Promene u veličini, 1RM i TMG parametrima za mišiće kvadricepsa u odnosu na FEG i SEG grupu

	FEG		SEG		<i>p</i> (ANCOVA)	VE (ANCOVA)
	pre	post	pre	post		
APP QF (mm ²)	1304,2±342,1	1362,0±334,7**	1205,5±220,0	1269,2±223,7**	0,838	0,05
APP RF (mm ²)	323,37±104,57	344,75±91,80*	350,22±91,20	367,44±92,06*	0,846	0,05
APP VI (mm ²)	286,12±117,86	303,75±135,37*	260,44±70,27	275,89±69,81*	0,979	0,01
APP VM (mm ²)	320,87±82,68	332,25±81,59*	267,00±49,25	279,78±50,08**	0,821	0,06
APP VL (mm ²)	373,87±83,34	381,25±84,19**	327,89±28,27	346,11±32,92**	0,021*	0,69
1RM (kg)	101,87±28,78	107,5±31,96*	92,78±19,22	103,89±23,15**	0,041*	0,61
Dm RF (mm)	9,04±2,49	7,40±2,62*	10,93±2,58	9,42±2,46*	0,570	0,16
Tc RF (ms)	26,44±3,54	25,05±4,77	26,99±3,04	30,52±3,68**	0,012*	0,77
Dm VL (mm)	6,16±2,41	5,21±1,57	7,02±1,92	6,58±1,39	0,060	0,54
Tc VL (ms)	22,29±4,24	21,61±3,29	22,11±2,36	24,30±2,60**	0,031*	0,64

*APP - anatomski poprečni presek; 1RM - jedno maksimalno ponavljanje; Dm - radijalno pomeranje mišića; Tc - vreme kontrakcije; *- ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,05$); ** - ukazuje na značajnu razliku u odnosu na pretest ($p<0,01$)*



Slika 13. Povezanost apsolutnih promena (Δ) u poprečnom preseku i parametru Dm za mišiće Rectus Femoris (panel A) i Vastus Lateralis (panel B)

7. DISKUSIJA

Istraživanje je sprovedeno sa ciljem da ispita uticaj dva različita modaliteta treninga sa opterećenjem, koji se razlikuju u tempu i ritmu izvođenja ponavljanja, na veličinu, jačinu i kontraktilna svojstva skeletnih mišića, gornjih i donjih ekstremiteta. Sa aspekta mišićne hipertrofije, ultrazvučnom dijagnostikom testirano je ukupno 5 mišićnih grupa - pregibač u zglobu lakta (biceps brachii) i 4 opružača u zglobu kolena (mišići kvadricepsa). Glavni nalazi ukazuju da oba trenažna protokola izazivaju isti hipertrofičan odgovor testiranih mišića, jedina razlika je primećena za m. vastus lateralis, gde je sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 doprineo značajno većem povećanju poprečnog preseka, u odnosu na brži tempo i drugačiji ritam (1/0/1/0). Mišićna jačina, za gore pomenute mišiće, testirana je na osnovu 1RM testa za vežbe Biceps pregib na Skotovoj klupi i Paralelni čučanj, gde se ispostavilo da je sporiji tempo, na račun sporijeg izvođenja u ekscentričnoj fazi, superioran u odnosu na brži. TMG metodom su procenjena kontraktilna svojstva, u vidu parametara Dm i Tc, za 3 mišićne grupe – biceps brachii, rectus femoris i vastus lateralis. Redukovanje vrednosti parametra Dm je bilo evidentno kod obe eksperimentalne grupe, i to za mišiće biceps brachii i rectus femoris, dok je sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0, izazvao povećanje vrednosti parametra Tc za mišiće rectus femoris i vastus lateralis. Promene u veličini su značajno povezane sa promenama u parametru Dm, ali samo za m. biceps brachii, dok za mišiće kvadricepsa to nije bio slučaj.

U sadašnjem istraživanju, uzorak su činili i muškarci i žene, i rezultati ukazuju da je isti trend promena u veličini, jačini i kontraktilnim svojstvima testiranih mišića bio prisutan kod oba pola. U prethodnim studijama (Cureton, Collins, Hill & Elhannon, 1988; Roberts, Nuckols & Krieger, 2020) autori dolaze do istih zaključaka - da je inicijalni rast mišića i razvoj jačine prisutan i kod muškaraca i žena, odnosno da pol nije značajna determinanta u adaptativnim procesima izazvanim treningom sa opterećenjem. Ovakva situacija ukazuje da mešoviti uzorak (u odnosu na pol) nije uticao na krajnje rezultate ovog istraživanja.

Praktikovanje treninga sa opterećenjem, 2 puta nedeljno, u trajanju od 7 nedelja, dovelo je do značajnog rasta testiranih mišića kod obe eksperimentalne grupe. Ovakvi nalazi su saglasni sa rezultatima prethodnih studija (Damas et al., 2019; Shibata et al., 2018), koji govore da je frekvencija treninga od 2 puta nedeljno, kada se ponavljanja izvode do (ili blizu) mišićnog otkaza, optimalna za značajnu mišićnu hipertrofiju kod netreniranih ispitanika. Takođe, rezultati dobijeni u ovoj studiji potvrđuju prethodna saznanja da broj serija, u rasponu 6 – 8 u toku nedelje, dovodi do značajnog rasta mišića gornjih i donjih ekstremiteta (ACSM, 2009; Schoenfeld et al., 2017). Veličina mišića BB-a se prosečno povećala za ~16% , dok su takve promene za kvadriceps iznosile ~5%. Slične vrednosti se uočavaju i kod Abe, DeHoyos, Pollock & Grazarella (2000); Cureton i saradnika (1988), koji zaključuju da trening sa opterećenjem izaziva procentualno veće promene u mišićima gornjeg dela tela (10-20%) u odnosu na mišiće nogu (4-8%). S obzirom da su mišići donjih ekstremiteta u velikoj meri angažovani u svakodnevnoj lokomociji i održavanju posture (Cureton et al., 1988), u literaturi postoje određene indikacije da je za hipertrofiju mišića nogu potreban veći obim treninga, nego za mišiće gornjeg dela tela (Ronnestad et al., 2007; Hackett et al., 2018). U ovoj studiji broj trenažnih serija (3-4) je bio identičan za obe mišićne grupe (biceps – kvadriceps), te je vrlo moguće da bi veći broj serija (> 8 u toku nedelje) doveo do dodatnog rasta mišića kvadricepsa.

Treba napomenuti da su ispitanici ponavljanja izvodili do otkaza ili do momenta kada nisu mogli održati zadati tempo i ritam. Većina ispitanika je sa radom prestajala usled nemogućnosti da održi zadati ritam u koncentričnoj fazi (1s). Generalno, mišićni otkaz se uzima kao zlatni standard prilikom treninga sa opterećenjem, jer se smatra da treniranje u takvim uslovima dovodi do aktiviranja celog spektra motornih jedinica, koji je jedan od glavnih preduslova za mišićni rast (Schoenfeld, 2010;

Dankel et al., 2016). Ipak, skorašnja istraživanja ukazuju da smanjenje brzine ponavljanja u koncentričnoj fazi kontrakcije (eng. velocity loss) od 40 - 50% dovodi do hipertrofije mišića i razvoja jačine, i da je takav vid treniranja ekvivalentan treningu u kome se ponavljanja izvode do otkaza (Pareja-Blanco et al., 2017; Nobrega et al., 2018; Terada et al., 2020; Pareja-Blanco et al., 2020). Ovakva situacija indukuje da je izvođenje ponavljanja, do momenta kada brzina u koncentričnoj fazi opada, dovoljan stimulus za nastanak mišićne hipertrofije i razvoj jačine, barem kod netreniranih ispitanika. Ovo može biti posebno važno za stariju ili rizičnu populaciju, s obzirom da se kod iste ne preporučuju maksimalna mišićna naprezanja iz zdravstveno opravdanih razloga. Sa druge strane, ostaje otvoreno pitanje da li bi nastavak izvođenja dodatnih ekscentričnih ponavljanja, kada se u koncentričnoj dodje do / ili blizu otkaza, doveo do dodatnog mišićnog rasta i razvoja jačine. U dosadašnjoj literaturi nije sprovedena takva studija i buduća istraživanja bi mogla biti osmišljena u tom smeru.

7.1 Uticaj tempa i ritma treninga na TUT i obim treninga

Očekivano, TUT je bio značajno veći kod SEG za obe trenažne vežbe, čime se potvrđuje hipoteza 1, kao i rezultati prethodnih istraživanja koja govore da je trajanje repeticija ključno za ukupno vreme u kom se mišić suprostavlja opterećenju (Gentil, Oliveira & Bottaro, 2006; Burd et al., 2012; Wilk et al., 2018). Sa druge strane, veći broj ponavljanja, a time i veći obim treninga (pošto je broj serija bio identičan za obe grupe) je ostvarila FEG grupa. Pryor, Sforzo & King (2011); Wilk et al. (2018) ističu da brze kontrakcije u ekscentričnoj fazi dovode do bolje iskorišćenosti elastične energije u koncentričnoj, što rezultira većem broju ponavljanja, čime se i objašnjava veći obim treninga kod FEG. Ovakvi rezultati ukazuju da se manipulacijom trajanja ekscentrične faze u velikoj meri određuju trenažne varijable kao što su obim treninga i TUT. Sa druge strane treba naglasiti da u određenom broju istraživanja, različit tempo treninga sa opterećenjem nije izazvao i različit TUT (Shibata et al., 2018), kao ni broj ponavljanja (Wilk et al., 2018a; Sakamoto & Sinclair, 2006). Tako, Shibata i saradnici (2018), dolaze do rezultata da su brži tempo, u ritmu 2/0/2/0, i sporiji tempo, u ritmu 4/0/2/0, imali isti efekat na TUT; dok se u studiji Wilk i saradnika (2018a), pokazalo da nema razlike u ukupno izvedenom broju ponavljanja do otkaza, između ritma 5/0/3/0 i 6/0/4/0. Ipak, u pomenutim studijama razlike između dva tempa su iznosile 2 sekunde u svakom ponavljanju, dok je u ovom istraživanju razlika između FEG i SEG iznosila 3 sek. Uzimajući u obzir navedeno, može se zaključiti da razlika u trajanju repeticija, koja je ≥ 3 sekunde, dovodi do značajnih alternacija u TUT-u i broju ponavljanja - obimu treninga.

7.2 Uticaj tempa i ritma treninga na hipertrofiju i jačinu fleksora u zglobu lakta

Jedan od glavnih nalaza istraživanja ukazuje da, suprotno hipotezi 2.1, sporije izvođenje u ekscentričnoj fazi (4/0/1/0) nije doprinelo značajno većem povećanju debljine mišića BB, u odnosu na brže (1/0/1/0). Dakle, i pored većeg TUT-a koji je ostvarila SEG (~ 150 sek), u odnosu na FEG (~ 80 sek), hipertrofičan efekat na BB je bio isti. Suprotno sa tim, Pereira i saradnici (2016b) su došli do zaključka da je srednje spor tempo, u ritmu (4/0/1/0) superioran u odnosu na brz tempo i ritam (1/0/1/0), kada se gledaju promene u debljini BB-a kodiskusnih vežbača (> 2 god treninga). Ove razlike u rezultatima bi se mogle objasniti različitom utreniranošću samog uzorka, odnosno da benefikacioni efekat na rast mišića sporije ekscentrično delovanje ima kod osoba koje već praktikuju

trening sa opterećenjem. Takođe, u navedenom istraživanju obe grupe su izvodile po 8 maksimalnih ponavljanja, i uzimajući u obzir da tempo i ritam treninga određuju obim, moguće je da grupa sa bržim kontrakcijama nije ostvarila dovoljan stimulus (TUT), a time i maksimalan hipertrofičan efekat. Morton, Colenso-Semple & Phillips (2019); Gonzales, Hoffman, Stout, Fukuda & Willoughby (2016) sugerišu da TUT, kao trenažna varijabla, jeste bitna za mišićnu hipertrofiju, ali do određenih graničnih vrednosti, i da svako dalje povećanje ne mora nužno značiti i dodatni mišićni rast. Rezultati ove studije su u skladu sa navedenim pretpostavkama i na osnovu njih možemo zaključiti da je ~80 sekundi TUT-a, u okviru jedne trenažne sesije, dovoljno da izazove rast fleksora u zglobu lakta kod netreniranih ispitanika.

Ipak, iako nisu uočene razlike između eksperimentalnih grupa u hipertrofičnom odgovoru BB-a, povećanje 1RM-a je bilo značajno veće kod SEG, u odnosu na FEG. Jačina koju će mišić ispoljiti zavisna je od njegove veličine, arhikteture i neuralne komponente (Folland & Williams, 2007; Hornsby et al., 2018). S obzirom da nisu uočene značajne razlike između grupa u promenama veličine testiranog mišića, logično je pretpostaviti da su promene u arhikteturi i neuralnim adaptacijama bile ključne, favorizujući SEG u pogledu jačine. Generalno, trening sa opterećenjem izaziva proporcionalno veće povećanje u jačini nego u veličini mišića (Seynnes et al., 2009; Buckner et al., 2016). Ipak, ovo je bio slučaj samo kod SEG, dok su kod FEG adaptacije u veličini BB-a (~15%) bile izraženije u odnosu na promene u jačini (~9%). Donekle slična situacija, mada manje izražena, se uočava za 1RM paralelnog čučnja i PP kvadricepsa, gde su ove promene bile gotovo identične (~5%). Navedeno ukazuje da hipertrofija kod FEG nije praćena i optimalnim mehaničkim adaptacijama mišića, odnosno da je brže izvođenje ponavljanja i veći obim treninga kod FEG uzrokovao rast mišića, pretežno na račun sarkoplazmatične hipertrofije. Ovo je saglasno sa istraživanjem Haunn i saradnika (2019), koji su došli do rezultata da veliki obim treninga dovodi do rasta mišića, prvenstveno zahvaljujući povećanju broja proteina u sarkoplazmi, a ne dodavanju sarkomera (u nizu ili paralelno). Do sličnih zaključaka dolazimo u studiji Schoenfeld i saradnika (2019) gde se ispostavilo da veći obim treninga uzrokuje značajnu hipertrofiju, ali ne i 1RM. Sve ovo indukuje da je kod FEG došlo do hipertrofije, pretežno povećanjem nekontraktilnih elemenata, čime bi se jednim delom mogle objasniti razlike u 1RM-u između eksperimentalnih grupa.

Sa druge strane, brojni dokazi ukazuju da su neuralne adaptacije, prouzrokovane treningom sa opterećenjem, ključne u razvoju jačine (Mattocks et al., 2017; Dankel et al., 2018; Buckner et al., 2016). Uzimajući u obzir da je znatno veći razvoj jačine fleksora u zglobu lakta primećen posle srednje sporog tempa treninga, pretpostavka je da je produženo trajanje ekscentrične faze doprinelo i većem neuralnom učešću. U prilog tome, pokazalo se da odgovor centralne (neuralne) komponente varira u zavisnosti od brzine kontrakcija (Tax, van der Gon Denier, Gielen & Klyne, 1990; Kulig et al., 2001; Bloomer & Ives, 2000). Tako, Kulig i saradnici (2001) ispituju promene u mišićnoj aktivnosti m.biceps brachii-a i m.brachialis-a, izazvane sporijim (5/0/1/0) i bržim (1/0/1/0) tempom treninga sa opterećenjem. Rezultati istraživanja su pokazali da, prilikom fleksije u zglobu lakta, do značajno većeg učešća m.brachialis-a dovode kretanja u sporijem ekscentričnom ritmu, što dalje implicira da trajanje ekscentrične faze u velikoj meri utiče na samu među-mišićnu koordinaciju. Ovo posebno može da se odnosi na mišiće sa paralelnom arhiktetutom, kao što je BB. S obzirom da je BB pretežno sačinjen od brzo-trzajnih mišićnih vlakana i da je njegova dominantna uloga prilikom brzih kretanja (Ema et al., 2016; Narici, Franchi & Maganaris, 2016), sasvim je moguće da prilikom sporijih ekscentričnih kontrakcija u zglobu lakta dodatno učešće imaju sinergističke mišićne grupe koje su zadužene za održavanje stabilnosti i koje imaju veći procenat sporih mišićnih vlakana (perasti mišići). Nažalost, u ovoj studiji su praćene karakteristike samo m.biceps brachi-a, te nije moguće dati odgovor da li je sporiji tempo izazvao dodatno uključivanje drugih mišićnih grupa.

7.3 Uticaj tempa i ritma treninga na hipertrofiju i jačinu ekstenzora u zglobu kolena

Posmatrajući sva četiri mišića kvadricepsa, možemo zaključiti da je vežba paralelni čučanj efikasno trenajno sredstvo da izazove značajan hipertrofičan odgovor svakog od njih. Međutim, pored toga što je uočeno povećanje PP kod svih mišića prednje lože, veličina efekta je više favorizovala VL i VM (>1), u odnosu na VI i RF (≤ 1). Prehodna istraživanja koja su ispitivala uticaj čučnja sa opterećenjem na veličinu mišića kvadricepsa ukazuju na veći rast mišića VL-a i VM-a u odnosu na RF (Kubo et al., 2019; Ema et al., 2016a). VL i VM imaju dominantnu ulogu prilikom izvođenja paralelnog čučnja (Caterisano et al., 2002; Contreras et al. 2015) i s obzirom da RF, pored ekstenzije kolena, svoju ulogu ima i prilikom fleksije kuka (Robertson, Wilson & Pierre, 2008), verovatno je inkorporacija dodatnih vežbi potrebna za optimalan trening RF-a (Ema et al., 2016a).

Ukupno povećanje PP-a kvadricepsa je uočeno kao posledica oba trenajna protokola, bez razlika između njih. Ovi rezultati su saglasni sa istraživanjem Shibata i saradnika (2018) gde se pokazalo da sporiji tempo u ritmu 4/0/2/0 i brži tempo u ritmu 2/0/2/0, pri izvođenju čučnja sa opterećenjem, izazivaju identične promene u PP-u kvadricepsa. Ipak, u pomenutoj studiji merena je ukupna veličina mišića prednje lože, bez pojedinačnog merenja svakog mišića, te je teško tvrditi da li brži ili sporiji tempo dovode do hipertrofije različitih mišića kvadricepsa. U ovom istraživanju, sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0, doprineo je značajno većem rastu VL, u odnosu na brži tempo, u ritmu 1/0/1/0, što ukazuje da se manipulacijom tempa i ritma treninga sa opterećenjem može izazvati intermuskularna varijabilnost u hipertrofiji. Ovi rezultati se mogu objasniti činjenicom da je u ekscentričnoj fazi izvođenja čučnja, aktivnost VL-a veća u odnosu na VM i RF (Pincivero, Gandhi, Timmons, & Coelho, 2006), te je sporije ekscentrično delovanje kod SEG uzrokovalo i dužu izloženost opterećenju VL-a, a time i veću hipertrofiju. Takođe, u preglednom radu Hackett i saradnici (2018) iznose pretpostavku da efikasnost TUT-a na hipertrofiju zavisi od same kompozicije mišića, odnosno da kod mišića koji su pretežno sačinjeni od vlakana tipa I, bolji izbor za hipertrofiju predstavlja tempo sa sporijim kontrakcijama. Uzimajući u obzir navedeno, moguće je da sporiji tempo treninga sa opterećenjem može biti superioran, u odnosu na brži, za rast mišića koji su zaduženi za održavanje stabilnosti tela i u kojima preovladavaju spora mišićna vlakna, kao što je VL (Lexell, Henriksson-Larsen, Winblad & Sjostrom, 1983). Ovo se dalje potvrđuje opservacijom da se parametar T_c , čije se veće vrednosti vezuje za procenat sporih mišićnih vlakana (Šimunić & Zubac, 2011; Dahmane et al., 2005), značajno povećao samo kod SEG, što dalje indukuje da je rast VL-a, izazvan sporijim ekscentričnim kontrakcijama i većim TUT-om, pretežno produkt hipertrofije mišićnih vlakana tipa I. U prilog tome, Gilles i saradnici (2006) su došli do rezultata da je sporiji ekscentrični tempo (6/0/2/0) doprineo povećanju veličine VL-a, prvenstveno zahvaljujući procentualno većoj hipertrofiji sporih mišićnih vlakana u odnosu na brza (tip IIa). Ipak, u dosadašnjoj literaturi samo je pomenuta studija (Gilles et al., 2006), ispitivala uticaj trajanja ekscentrične faze na mišićnu kompoziciju, te su potrebna dodatna istraživanja, koja bi uključila invazivne dijagnostičke procedure (biopsija), kako bi se ovi rezultati potvrdili.

S obzirom na dominantnu ulogu VL prilikom izvođenja paralelnog čučnja (Pincivero et al., 2006), veći rast dimenzija VL-a kod SEG je verovatno i ključan razlog zašto su promene u 1RM-u bile veće kod SEG, u odnosu na FEG. Ovaj nalaz se razlikuje od rezultata dobijenih od Mike i saradnika (2018), koji govore da manipulisanje trajanja ekscentrične faze nema uticaj na razvoj jačine mišića nogu. Ipak, iako Mike i saradnici (2018) nisu primetili značajne razlike između bržeg i sporijeg tempa, uočava se veće povećanje u 1RM-u čučnja (13.2% nasuprot 8.8%) nakon treninga sa dužim trajanjem ekcentrične faze (4/0/2/0), u odnosu na kraće (2/0/2/0). Generalno, posmatrajući promene u jačini za obe testirane vežbe, možemo zaključiti da je izvođenje treninga sa sporijim ekscentričnim kontrakcijama i većim TUT-om superiorno za povećanje 1RM-a za vežbe biceps pregib i paralelni čučanj. Ipak, razlike između FEG i SEG u povećanju 1RM-a čučnja su na granici statističke značajnosti ($p=0.041$) i te

razlike su manje izražene nego promene u 1RM-a za vežbu biceps pregib ($p=0.001$), što dalje implicira da trening sa dužim trajanjem ekscentrične faze ima veći efekat na razvoj jačine fleksora u zlobu lakta u odnosu na ekstenzore u zlobu kolena.

7.4 Uticaj tempa i ritma treninga na kontraktilna svojstva mišića gornjih i donjih ekstremiteta

Prethodne studije u kojima se ispitivao uticaj treninga sa opterećenjem na TMG parametre, uglavnom su bile akutnog karaktera. Pokazalo se da se mišićna krutost povećava, odnosno parametar Dm smanjuje, nakon ekscentričnog (Hunter et al., 2012) ili izotoničkog (Paula - Simola et al., 2015; Garcia-Manso, Garcia-Matoso & Sarmiento, 2015) treninga sa opterećenjem. Šta više, Paula-Simola i saradnici (2015) su došli do rezultata da su najveće promene u parametru Dm uočene odmah nakon treninga sa produženim trajanjem ekscentrične faze i povećanim TUT-om. Nasuprot tome, rezultati naše studije ukazuju da u hroničnom smislu, to nije slučaj. Promene u Dm parametru bile su identične kod obe eksperimentalne grupe, što navodi na zaključak da trening sa opterećenjem dovodi do povećanja krutosti mišića, bez obzira na TUT. Ipak, povećanje krutosti bilo je evidentno samo kod BB-a i RF-a, dok promene u parametru Dm za VL nisu dostigle statističku značajnost. Do istih saznanja dolaze i Wilson i saradnici (2019), gde se ispostavilo da praktikovanje paralelnog čučnja sa opterećenjem dovodi do redukcije vrednosti Dm-a kod RF-a, ali ne i VL-a. Takođe, u istraživanju (Zubac & Šimunič, 2017) ni primena pliometrijskog treninga nije dovela do značajnog povećanja krutosti VL-a, za razliku od biceps femoris-a. Ova pojava se može objasniti činjenicom da je VL postularan mišić, koji je u velikoj meri angažovan svakodnevnim aktivnostima i čija je krutost već dovoljno velika, te trenažni stimulus ne izaziva tako drastične promene, kao što je to slučaj za mišiće koji su manje aktivni u svakodnevnim životnim aktivnostima.

Povećana krutost BB-a bila je praćena povećanjem veličine, odnosno uočena je značajna negativna povezanost između apsolutnih promena u parametru Dm i debljine BB-a. Ovi nalazi su saglasni sa istraživanjem Pišot i saradnika (2008), koji govore da povećane vrednosti varijable Dm ukazuju na postojanje atrofije BB-a nakon 35 dana bolničke imobilizacije. U prilog tome, Than i saradnici (2016), su ispitivali promene u debljini i kontraktilnim svojstvima BB-a, uzrokovane treningom sa opterećenjem, gde su došli do rezultata da je povećanje veličine mišića bilo praćeno smanjenjem parametra Dm. Rezultati našeg istraživanja su u skladu sa prethodnim studijama (Pišot et al., 2008; Than et al., 2016) i na osnovu njih možemo zaključiti da je TMG metoda, odnosno parametar Dm, korisno dijagnostičko sredstvo u cilju otkrivanja promena u veličini mišića gornjih ekstremiteta, nastalih pod uticajem treninga sa opterećenjem. Iznenadujuće, za razliku od BB-a, za mišiće RF i VL u našem istraživanju nije uočena značajna povezanost između apsolutnih promena u parametru Dm i PP-u. Nasuprot ovim rezultatima, u studiji Wilson i saradnika (2019) promene u parametru Dm su značajno korelirale sa promenama u veličini VL-a i RF-a. Ipak, u ovoj studiji veličina mišića nogu je određena na osnovu anatomskeg PP-a, koji zavisi i od ugla pripajanja, ali i dužine mišićnog snopa (Ema et al., 2016; Narici et al., 2016). Sa druge strane Wilson i saradnici (2019) su pratili promene u fiziološkom PP-u, kao i same promene u uglu pripajanja mišića, stoga razlike u rezultatima između našeg i pomenutog istraživanja (Wilson et al., 2019) se mogu objasniti različitim dijagnostičkom metodom na osnovu koje se procenjivala veličina mišića. Ovo se dalje potvrđuje i prethodno prezentovanim rezultatima ovog istraživanja, koji ukazuju na postojanje značajne povezanosti između promena u debljini i parametru Dm za mišić BB. Biceps brachii je mišić sa paralelno postavljenim vlaknima i povećanje debljine ovog mišića je pretežno posledica hipertrofije na račun paralelnog

dodavanja sarkomera, koje kod perastih mišića (RF i VL) određuju ugao pripajanja. Sve navedeno indukuje da su promene u parametru Dm, izazvane treningom sa opterećenjem, prvenstveno pokazatelji promena u mišićnoj arhitekturi, pre nego ukupnom hipertrofičnom odgovoru mišića.

7.5 Nedostaci istraživanja

Treba napomenuti da je u ovoj studiji veličina testiranih mišića merena samo na jednom sajtu (regiji), što je i glavna limitacija istraživanja. Ovo se posebno odnosi na RF i VL čiji je PP meren u distalnom delu, dok su TMG parametri procenjeni na osnovu nevoljnih kontrakcija u središnjoj regiji mišića. Uzimajući u obzir da mišić može ispoljiti regionalnu (intramuskularnu) hipertrofiju u odnosu na svoju dužinu (Wakahara et al., 2013; Ema et al., 2016), moguće je da rast testiranih mišića nije bio uniforman. S toga, buduća istraživanja bi trebalo biti suplementirana podacima o veličini mišića u proksimalnoj, centralnoj i distalnoj regiji.

Prema grupi autora (Wilk et al., 2020a) procentualna vrednost RM-a bi se trebala odrediti na osnovu testiranja 1RM u zadatom tempu i ritmu pokreta. Autori su došli do saznanja da sporije izvođenje pokreta u ekscentričnoj fazi ima negativan uticaj na 1RM prilikom vežbe potisak sa grudi, odnosno da produženo trajanje ekscentrične faze od 5 sek dovodi do smanjenja od oko 5.8% 1RM-a, u odnosu na brže ekscentrično izvođenje (2 sek). S obzirom da u ovom istraživanju tempo i ritam pokreta nisu kontrolisani prilikom 1RM testiranja, ne može se isključiti mogućnost da je relativno opterećenje kod FEG bilo nešto niže u odnosu na FEG, što je i druga limitacija istraživanja. Ipak, iako bi ovo moglo imati određene implikacije kod vrhunskih sportista, veoma su male šanse da je razlika od 5.8% bila dovoljno velika da proizvede dodatni razvoj jačine kod SEG i utiče na krajnje rezultate istraživanja.

8. ZAKLJUČAK

Ovo je prva studija koja je ispitivala uticaj tempa i ritma treninga sa opterećenjem, manipulacijom trajanja ekscentrične faze na hipertrofiju, jačinu i kontraktilna svojstva mišića kod netreniranih ispitanika. Cilj istraživanja je bio da uporedi efekte izvođenja vežbi sa opterećenjem, primenom dva različita trenažna protokola: izvođenje ponavljanja brzim tempom, u ritmu 1/0/1/0, i srednje sporim tempom, u ritmu 4/0/1/0; na morfološke i kontraktilne adaptacije mišića gornjih i donjih ekstremiteta. Prezentovani rezultati potvrđuju određena prethodna saznanja iz metodologije treninga sa opterećenjem i donose niz novih, koje mogu biti od velike koristi u naučnom i praktičnom smislu:

- Frekvencija treninga od dva puta nedeljno i broj serija 6–8 na nedeljnom nivou, dovode do značajnog razvoja jačine i rasta mišića gornjih i donjih ekstremiteta.
- Promene u jačini, veličini i kontraktilnim svojstvima mišića su identične kod muškaraca i žena.
- Izvođenje ponavljanja do momenta kada dolazi do znatnog usporavanja koncentrične faze je dovoljno za značajan mišićni rast i razvoj jačine.
- Trajanje ekscentrične faze u velikoj meri određuje trenažne varijable TUT i obim treninga.
- Oba trenažna protokola imaju identičan efekat na rast mišića gornjih i donjih ekstremiteta, osim za vastus lateralis, gde je sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0, superioran u odnosu na brži tempo i ritam 1/0/1/0.
- Paralelni čučanj sa opterećenjem je efikasno sredstvo da izazove hipertrofičan odgovor sva četiri mišića kvadricepsa.
- Sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 je superioran u odnosu na brži tempo u ritmu 1/0/1/0, kada se gleda razvoj jačine fleksora u zglobu lakta i ekstenzora u zglobu kolena.
- Oba trenažna protokola dovode do identičnog povećanja mišićne krutosti, dok umereno spor tempo treninga dovodi do povećanja vremena kontrakcije kod mišića nogu.
- Promene u mišićnoj krutosti su pokazatelji hipertrofije za mišiće gornjih ekstremiteta (biceps brachii).

Stoga, u odnosu na postavljene hipoteze, može se zaključiti:

Hipoteza 1 - Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, prouzrokuje značajno veće vreme pod tenzijom (TUT), u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze – može se zaključiti da je hipoteza potvrđena.

Prezentovani rezultati ukazuju da trajanje ekscentrične faze u velikoj meri određuje trenažne varijable TUT i obim treninga. Razlike u trajanju repeticija od 3 sekunde su dovele do značajnih alternacija u pogledu trenažnih varijabli TUT i obim treninga između eksperimentalnih grupa. Trening sa opterećenjem izvođen sa sporijim ekscentričnim kontrakcijama direktno je povećao TUT, dok sa druge strane, brže ekscentrične kontrakcije su dovele do većeg obima treninga.

Hipoteza 2 - Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja veličine i jačine fleksora u zglobu lakta (m. biceps brachii) - može se zaključiti da je hipoteza potvrđena.

Prezentovani rezultati ukazuju da je sedmonedeljna trenažna intervencija, u vidu vežbe biceps pregib na Skotovoj klupi, sa frekvencom treninga od dva puta nedeljno i brojem serija 6 – 8 na nedeljnom nivou, dovoljna da izazove značajni razvoj jačine i rast mišića fleksora u zglobu lakta, tj. mišića biceps brachii-a.

Hipoteza 2.1 - Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veće povećanje veličine i jačine testiranog mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze - može se zaključiti da je hipoteza delimično potvrđena.

Manipulacija trajanja ekscentrične faze, odnosno tempa i ritma treninga sa opterećenjem, nije izazvala značajno različiti hipertrofičan odgovor mišića biceps brachii. Sa druge strane, sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 se pokazao kao superioran u odnosu na brži 1/0/1/0, kada se gleda razvoj maksimalne jačine fleksora u zglobu lakta.

Hipoteza 3 - Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovede do značajnog povećanja veličine i jačine opružaca u zglobu kolena (mišića kvadricepsa) - može se zaključiti da je hipoteza potvrđena.

Kao što je to bio slučaj i za mišiće gornjih ekstremiteta, frekvencija treninga od dva puta nedeljno i broj serija 6 – 8 na nedeljnom nivou su doveli do značajnog razvoja jačine i rasta mišića opružaca u zglobu kolena. Takođe, prezentovani rezultati ukazuju da je vežba paralelni čučanj sa opterećenjem efikasno trenažno sredstvo da izazove hipertrofičan odgovor sva četiri mišića kvadricepsa.

Hipoteza 3.1 - Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veće povećanje veličine i jačine testiranih mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze - može se zaključiti da je hipoteza delimično potvrđena.

Dva trenažna protokola, koja su se ogledala u različitom tempu i ritmu izvođenja čučnja sa opterećenjem, su imala identičan uticaj na rast mišića ekstenzora u zglobu kolena, osim za vastus lateralis gde se sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 pokazao kao superioran u odnosu na brži (1/0/1/0). Takođe, sporiji tempo i ritam treninga sa produženim trajanjem ekscentrične faze, je doprineo značajno većem povećanju maksimalne jačine, u odnosu na brži.

Hipoteza 4 - Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovede do značajnog povećanja krutosti, odnosno smanjenih vrednosti parametra Dm, za m. biceps brachii - može se zaključiti da je hipoteza potvrđena.

Trenažna intervencija, u vidu vežbe biceps pregib na Skotovoj klupi, koja je izvođena 2 puta nedeljno u trajanju od 7 nedelja, je dovela do hroničnog smanjenja parametra Dm, odnosno povećane krutosti, za mišić biceps brachii.

Hipoteza 4.1 - Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veću krutost testiranog mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze - može se zaključiti da hipoteza nije potvrđena, odnosno da je odbačena.

Oba trenažna protokola su dovela do identičnih promena u parametru Dm, bez obzira na različito tempo i ritam, odnosno trajanje ekscentrične faze.

Hipoteza 5 - Praktikovanje treninga sa opterećenjem dovešće do značajnog povećanja krutosti, odnosno smanjenih vrednosti parametra Dm, za m. rectus femoris i m. vastus lateralis - može se zaključiti da je hipoteza delimično potvrđena.

Trenažna intervencija, u vidu vežbe paralelni čučanj, koja je izvođena 2 puta nedeljno u trajanju od 7 nedelja, je dovela do hroničnog povećanja krutosti samo za mišić rectus femoris, dok za vastus lateralis nisu uočene značajne promene u parametru Dm.

Hipoteza 5.1 - Sporiji tempo treninga u ritmu gde je produženo trajanje ekscentrične faze u odnosu na koncentričnu, uzrokuje značajno veću krutost testiranih mišića, u odnosu na brži tempo treninga sa jednakim trajanjem koncentrične i ekscentrične faze - može se zaključiti da hipoteza nije potvrđena, odnosno da je odbačena.

Oba trenažna protokola su dovela do identičnih promena u parametru Dm, bez obzira na različit tempo i ritam, odnosno trajanje ekscentrične faze.

Hipoteza 6 - Pretpostavlja da će postojati značajna povezanost između promena u veličini mišića i parametru Dm testiranih mišića - može se zaključiti da je hipoteza delimično potvrđena.

Promene u mišićnoj krutosti su pokazatelji hipertrofije samo za mišiće gornjih ekstremiteta (biceps brachii), dok za mišiće kvadricepsa to nije bio slučaj.

Prezentovani rezultati promovišu umereno spor ekscentrični tempo za razvoj jačine mišića fleksora u zglobu lakta i ekstenzora u zglobu kolena, kod oba pola. S toga, predlog je da produženo trajanje ekscentrične faze (4 s) bude implementirano u trening sa opterećenjem, kada je cilj razvoj jačine. Sa druge strane, trajanje repeticija u opsegu 2–5 s, bez obzira na različito trajanje ekscentrične faze, ima identičan efekat na rast mišića kod netreniranih ispitanika, osim za vastus lateralis, gde je sporiji tempo, u ritmu 4/0/1/0 superioran u odnosu na brži tempo, u ritmu 1/0/1/0. Predlog je da početnici repeticije ne izvode do pravog mišićnog otkaza, već do momenta kada dolazi do znatnog usporavanja kretanja u koncentričnoj fazi, barem u prvim nedeljama treniranja. U dužem vremenskom periodu, verovatno bi oba načina treninga (1/0/1/0 i 4/0/1/0) davala dobre rezultate u prvih nekoliko meseci, a zatim bi došlo do stagnacije u hipertrofiji. Koristeći rezultate ovog istraživanja, mogla bi se sprečiti pojava stagnacije tako što bi se periodično, u intervalima od po nekoliko meseci, smenjivao trening gde se rade relativno brza ponavljanja (1/0/1/0), sa treningom gde je ekscentrična kontrakcija umereno spora (4/0/1/0).

TMG instrument je upotrebljivo i korisno sredstvo za praćenje efektivnosti treninga sa opterećenjem i parametar Dm se može koristiti za detekciju promena u veličini mišića gornjih ekstremiteta. Posmatrajući mišiće gornjih i donjih ekstremiteta može se uočiti da njihov morfološki i kontraktilni odgovor nije identičan, s toga bi navedene mišićne grupe trebalo posmatrati odvojeno, odnosno trenažni efekat koji se ispolji na fleksore u zglobu lakta ne bi trebalo generalizovati na ekstenzore u zglobu kolena i vice-versa.

9. LITERATURA

- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81(3), 174-180.
- Ahtiainen, J. P. (2019). *Physiological and Molecular Adaptations to Strength Training*. In *Concurrent Aerobic and Strength Training* (pp. 51-73): Springer.
- Almeida, C. F., Fernandes, S. A., Ribeiro Junior, A. F., Keith Okamoto, O., & Vainzof, M. (2016). Muscle satellite cells: exploring the basic biology to rule them. *Stem Cells International*, 2016.
- American College of Sports Medicine (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708.
- Amirthalingam, T., Mavros, Y., Wilson, G. C., Clarke, J. L., Mitchell, L., & Hackett, D. A. (2017). Effects of a modified German volume training program on muscular hypertrophy and strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(11), 3109-3119.
- Antonio, J. (2000). Nonuniform response of skeletal muscle to heavy resistance training: Can bodybuilders induce regional muscle hypertrophy? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(1), 102-113.
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2008). *Essentials of strength training and conditioning*. Human kinetics.
- Beck, T. W. (2013). The importance of a priori sample size estimation in strength and conditioning research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2323-2337.
- Bird, S. P., Tarpinning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. *Sports Medicine*, 35(10), 841-851.
- Bloomer, R. J., Ives, J. C. J. S., & Journal, C. (2000). Varying neural and hypertrophic influences in a strength program. *Strength & Conditioning Journal*, 22(2), 30-35.
- Botero, J. P., Oliveira, M. G., Schoenfeld, B., & de Azevedo, P. H. S. M. (2018). Comparison of Different Eccentric Phase Tempo of Knee Extension Resistance Exercise on Hypertrophy Response: 1791 Board# 52 May 31 200 PM-330 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(5S), 420.
- Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Counts, B. R., & Loenneke, J. P. (2016). The problem of muscle hypertrophy: revisited. *Muscle & Nerve*, 54(6), 1012-1014.
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., Cashaback, J. G., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *The Journal of Physiology*, 590(2), 351-362.

- Calixto, R., Verlengia, R., Crisp, A., Carvalho, T., Crepaldi, M., Pereira, A., Yamada, A., da Mota, G., & Lopes, C. (2014). Acute effects of movement velocity on blood lactate and growth hormone responses after eccentric bench press exercise in resistance-trained men. *Biology of Sport*, *31*(4), 289.
- Camera, D. M., Smiles, W. J., & Hawley, J. A. (2016). Exercise-induced skeletal muscle signaling pathways and human athletic performance. *Free Radical Biology and Medicine*, *98*, 131-143.
- Caterisano, A., Moss, R. E., Pellingier, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W., & Khadra, T. (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *16*(3), 428-432.
- Chai, J. H., Kim, B. K., Kim, C., Kim, C. H., & Bae, S. W. (2016). Analysis of bodybuilder's skeletal muscle characteristics using tensiomyography. *The Korean Journal of Sports Medicine*, *34*(2), 146-152.
- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *International Journal of Sports Medicine*, *27*(08), 591-598.
- Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., & Cronin, J. J. (2016). A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyography amplitude in the parallel, full, and front squat variations in resistance-trained females. *Journal of Applied Biomechanics*, *32*(1), 16-22.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. *Sports Medicine*, *41*(1), 17-38.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W., & McElhannon Jr, F. M. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *20*(4), 338-344.
- da Silva, J. J., Schoenfeld, B. J., Marchetti, P. N., Pecoraro, S. L., Greve, J. M., & Marchetti, P. H. (2017). Muscle activation differs between partial and full back squat exercise with external load equated. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *31*(6), 1688-1693.
- Dahmane, R., Djordjevič, S., Šimunič, B., & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle: histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, *38*(12), 2451-2459.
- Damas, F., Barcelos, C., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Santos, L., Conceicao, M. C., Vechin, F. C., & Libardi, C. A. (2019). Individual muscle hypertrophy and strength responses to high vs. low resistance training frequencies. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(4), 897-901.
- Dankel, S. J., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Correlations do not show cause and effect: not even for changes in muscle size and strength. *Sports Medicine*, *48*(1), 1-6.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Mouser, J. G., Counts, B. R., Buckner, S. L., & Loenneke, J. P. (2017). Training to fatigue: the answer for standardization when assessing muscle hypertrophy? *Sports Medicine*, *47*(6), 1021-1027.

- Davies, T. B., Kuang, K., Orr, R., Halaki, M., & Hackett, D. (2017). Effect of movement velocity during resistance training on dynamic muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(8), 1603-1617.
- de Freitas, M. C., Gerosa-Neto, J., Zanchi, N. E., Lira, F. S., & Rossi, F. E. (2017). Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: Practical applications. *World Journal of Methodology*, 7(2), 46.
- de Paula Simola, R. Á., Harms, N., Raeder, C., Kellmann, M., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Assessment of neuromuscular function after different strength training protocols using tensiomyography. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1339-1348.
- Ditroilo, M., Smith, I. J., Fairweather, M. M., & Hunter, A. M. (2013). Long-term stability of tensiomyography measured under different muscle conditions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 558-563.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Medicine*, 47(4), 663-675.
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazevich, A. J. (2015). Inhomogeneous quadriceps femoris hypertrophy in response to strength and power training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(11), 2389-2397.
- Ema, R., Akagi, R., Wakahara, T., & 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.
- Ema, R., Sakaguchi, M., Akagi, R., & Kawakami, Y. J. (2016a). Unique activation of the quadriceps femoris during single-and multi-joint exercises. *European Journal of Applied Physiology*, 116(5), 1031-1041.
- Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development. *Sports Medicine*, 6(3), 146-168.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. (2014). *Designing resistance training programs*, 4E. Human Kinetics.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, 37(2), 145-168.
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8, 447.
- Frontera, W. R., & Ochala, J. (2015). Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified Tissue International*, 96(3), 183-195.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663-679.
- García-García, O., Cuba-Dorado, A., Álvarez-Yates, T., Carballo-López, J., & Iglesias-Caamaño, M. (2019). Clinical utility of tensiomyography for muscle function analysis in athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 10, 49-69.

- García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 612-619.
- Gentil, P., Oliveira, E., & Bottaro, M. (2006). Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *Journal of Physiological Anthropology*, 25(5), 339-344.
- Gillies, E. M., Putman, C. T., & Bell, G. J. (2006). The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *European Journal of Applied Physiology*, 97(4), 443-453.
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Stout, J. R., Fukuda, D. H., & Willoughby, D. S. (2016). Intramuscular anabolic signaling and endocrine response following resistance exercise: implications for muscle hypertrophy. *Sports Medicine*, 46(5), 671-685.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(6), 955-963.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., Kraemer, R. R., Honda, Y., & Takamatsu, K. (2009). Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *European Journal of Applied Physiology*, 106(5), 731-739.
- Grgić, J., Homolak, J., Mikulić, P., Botella, P., & Schoenfeld, B. J. (2018). Inducing hypertrophic effects of type I skeletal muscle fibers: A hypothetical role of time under load in resistance training aimed at muscular hypertrophy. *Medical Hypotheses*. 112, 40-42
- Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W., & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 983-993.
- Gumucio, J. P., Sugg, K. B., & Mendias, C. L. (2015). TGF- β superfamily signaling in muscle and tendon adaptation to resistance exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 43(2), 93.
- Hackett, D. A., Davies, T. B., Orr, R., Kuang, K., & Halaki, M. (2018). Effect of movement velocity during resistance training on muscle-specific hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 18(4), 473-482.
- Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., . . . Kavazis, A. N. (2019). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *Plos One*, 14(6), e0215267.
- Hedayatpour, N., & Falla, D. (2015). Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: mechanisms and considerations for training. *BioMed Research International*, 193741.
- Helms, E. R., Aragon, A. A., & Fitschen, P. J. (2014). Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: nutrition and supplementation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 20-39.

- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 560-580.
- Hornsby, W. G., Gentles, J. A., Haff, G. G., Stone, M. H., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Bell, Z. W., Abe, T., Loenneke, J. P. (2018). What is the impact of muscle hypertrophy on strength and sport performance? *Strength & Conditioning Journal*, 40(6), 99-111.
- Howe, L. P., Read, P., & Waldron, M. (2017). Muscle hypertrophy: A narrative review on training principles for increasing muscle mass. *Strength & Conditioning Journal*, 39(5), 72-81.
- Hunter, A. M., Galloway, S. D., Smith, I. J., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M. M., & Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 334-341.
- Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Prog. Biophys. Biophys. Chem*, 7, 255-318.
- Jarić, S. (1997). *Biomehanika: humane lokomocije sa biomehanikom sporta*. Dosiје.
- Jarić, S., & Kukolj, M. (1996). Sila (jačina) i snaga u pokretima čoveka. *Fizička kultura*, 50(1-2), 15-28
- Kelley, G. (1996). Mechanical overload and skeletal muscle fiber hyperplasia: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1584-1588.
- Kraemer, W. J., & Fleck, S. J. (2007). *Optimizing strength training: designing nonlinear periodization workouts*. Human Kinetics.
- Krüger, M., & Kötter, S. (2016). Titin, a central mediator for hypertrophic signaling, exercise-induced mechanosignaling and skeletal muscle remodeling. *Frontiers in Physiology*, 7, 76.
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *European Journal of Applied Physiology*, 119(9), 1933-1942.
- Kulig, K., Powers, C. M., Shellock, F. G., Terk, M. J. M., sports, s. i., & exercise. (2001). The effects of eccentric velocity on activation of elbow flexors: evaluation by magnetic resonance imaging. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 196-200.
- Kwon, Y.-H., & Park, J.-W. (2011). Different cortical activation patterns during voluntary eccentric and concentric muscle contractions: an fMRI study. *NeuroRehabilitation*, 29(3), 253-259.
- Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Diniz, R. C., Lima, F. V., Andrade, A. G., Tourino, F. D., . . . Chagas, M. H. (2016). Variations in Repetition Duration and Repetition Numbers Influence Muscular Activation and Blood Lactate Response in Protocols Equalized by Time Under Tension. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 251-258. doi:10.1519/jsc.0000000000001044
- Lexell, J., Henriksson-Larsén, K., Winblad, B., & Sjöström, M. J. (1983). Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle cross sections. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 6(8), 588-595.
- Lieber, R. L., & Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 23(11), 1647-1666.

- Loturco, I., Pereira, L. A., Kobal, R., Abad, C. C. C., Komatsu, W., Cunha, R., Arliani, G., Ejnisman, B., Pochini, A., Nakamura, F. Y., & Cohen, M. (2018). Functional screening tests: Interrelationships and ability to predict vertical jump performance. *International Journal of Sports Medicine*, 39(03), 189-197.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Kobal, R., Kitamura, K., Ramírez-Campillo, R., Zanetti, V., Abad, C. C., & Nakamura, F. Y. (2016). Muscle contraction velocity: a suitable approach to analyze the functional adaptations in elite soccer players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(3), 483.
- Macgregor, L. J., Ditroilo, M., Smith, I. J., Fairweather, M. M., & Hunter, A. M. (2016). Reduced radial displacement of the gastrocnemius medialis muscle after electrically elicited fatigue. *Journal of Sport Rehabilitation*, 25(3), 241-247.
- Macgregor, L. J., Hunter, A. M., Orizio, C., Fairweather, M. M., & Ditroilo, M. (2018). Assessment of skeletal muscle contractile properties by radial displacement: the case for tensiomyography. *Sports Medicine*, 48(7), 1607-1620.
- Mandarić, S. (2003). *Efekti programiranog vežbanja uz muziku kod učenica sedmih razreda osnovne škole*. Doktorska disertacija. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Martins-Costa, H. C., Diniz, R. C. R., Lima, F. V., Machado, S. C., Almeida, R. S. V. d., Andrade, A. G. P. d., & Chagas, M. H. (2016). Longer repetition duration increases muscle activation and blood lactate response in matched resistance training protocols. *Motriz: Revista de Educação Física*, 22, 35-41.
- Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Loenneke, J. P. (2017). Practicing the Test Produces Strength Equivalent to Higher Volume Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(9), 1945-1954.
- McComas, A. J. (1996). *Skeletal muscle: form and function*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., & Gleim, G. W. (2000). Electromyographic analysis of exercise resulting in symptoms of muscle damage. *Journal of Sports Sciences*, 18(3), 163-172.
- Mike, J. N., Cole, N., Herrera, C., VanDusseldorp, T., Kravitz, L., & Kerksick, C. M. (2017). The effects of eccentric contraction duration on muscle strength, power production, vertical jump, and soreness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 773-786.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-130.
- Morton, R. W., Colenso-Semple, L., & Phillips, S. M. (2019). Training for strength and hypertrophy: an evidence-based approach. *Current Opinion in Physiology*, 10, 90-95.
- Narici, M. V., Roi, G., Landoni, L., Minetti, A., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319.
- Narici, M., Franchi, M., & Maganaris, C. J. (2016). Muscle structural assembly and functional consequences. *Journal of Experimental Biology*, 219(2), 276-284.

- Nedeljković, A. (2016). *Relacija sila-brzina u višezglobnim pokretima: nova metoda u testiranju sile, brzine i snage*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Nikolić, Z., & Vinokić, D. (2003). *Fiziologija fizičke aktivnosti*. Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd.
- Nishikawa, K. C., Monroy, J. A., Uyeno, T. E., Yeo, S. H., Pai, D. K., & Lindstedt, S. L. (2012). Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1730), 981-990.
- Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Pintanel, L., Barcelos, C., & Libardi, C. A. (2018). Effect of resistance training to muscle failure vs. volitional interruption at high-and low-intensities on muscle mass and strength. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 162-169.
- Nogueira, W., Gentil, P., Mello, S. N., Oliveira, R. J., Bezerra, A. J., & Bottaro, M. (2009). Effects of power training on muscle thickness of older men. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 200-204. doi:10.1055/s-0028-1104584
- Ozaki, H., Loenneke, J. P., Buckner, S. L., & Abe, T. (2016). Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Medical Hypotheses*, 88, 22-26.
- Paddon-Jones, D., Keech, A., Lonergan, A., & Abernethy, P. (2005). Differential expression of muscle damage in humans following acute fast and slow velocity eccentric exercise. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(3), 255-263.
- Pareja-Blanco, F., Alcazar, J., Sánchez-Valdepeñas, J., Cornejo-Daza, P. J., Piqueras-Sanchiz, F., Mora-Vela, R., Sanchez-Moreno, M., Bachero-Mena, B., Ortega-Becerra, M., & Alegre, L. M. (2020). Velocity Loss as a Critical Variable Determining the Adaptations to Strength Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(8), 1752-1762
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Morales-Alamo, D., Perez-Suarez, I., Calbet, J., & Gonzales-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport*, 27(7), 724-735.
- Pereira, P. E. A., Motoyama, Y. L., Esteves, G. J., Quinelato, W. C., Botter, L., Tanaka, K. H., & Azevedo, P. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 5(2).
- Perkisas, S., Baudry, S., Bauer, J., Beckwée, D., De Cock, A.-M., Hobbelen, H., Jager-Wittenaar, H., Kasiukiewicz, A., Landi, F., Marco, E., Merello, A., Piotrowicz, M., Sanchez, E., Sanchez-Rodriguez, D., Scafolgieri, A., Cruz-Jentoft, A., & Vandewude, M. (2018). Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: towards standardized measurements. *European Geriatric Medicine*, 9(6), 739-757.
- Pincivero, D. M., Gandhi, V., Timmons, M. K., & Coelho, A. J. (2006). Quadriceps femoris electromyogram during concentric, isometric and eccentric phases of fatiguing dynamic knee extensions. *Journal of Biomechanics*, 39(2), 246-254.

- Pinto, R. S., Gomes, N., Radaelli, R., Botton, C. E., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2140-2145. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823a3b15
- Pišot, R., Narici, M. V., Šimunič, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., Biolo, G., & Mekjavić, I. B. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104(2), 409-414.
- Pryor, R. R., Sforzo, G. A., & King, D. L. (2011). Optimizing power output by varying repetition tempo. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(11), 3029-3034.
- Ratamess, N. (2012). *Resistance training program design*. Ratamess N. ACSM Foundations of Strength Training and Conditioning. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins, 192-228.
- Rey, E., Lago-Peñas, C., & Lago-Ballesteros, J. (2012). Tensiomyography of selected lower-limb muscles in professional soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6), 866-872.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 918-920. doi: 10.1519/14403.1
- Roberts, B. M., Nuckols, G., & Krieger, J. W. (2020). Sex differences in resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(5), 1448-1460.
- Robertson, D., Wilson, J.-M. J., & Pierre, T. A. S. (2008). Lower extremity muscle functions during full squats. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(4), 333-339.
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & Raastad, T. J. (2007). Dissimilar effects of one-and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 157-163.
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 523.
- Schoenfeld, B. (2020). *Science and development of muscle hypertrophy*. Human Kinetics.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.
- Schoenfeld, B. J. (2012). Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1441-1453.
- Schoenfeld, B. J., & Grgic, J. (2019). Does training to failure maximize muscle hypertrophy? *Strength & Conditioning Journal*, 41(5), 108-113.
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 94.

- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., & Krieger, J. W. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(4), 577-585.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. V., & Krieger, J. W. (2017). Hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(9), 2599-2608.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073-1082.
- Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015). Effects of low- vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(10), 2954-2963.
- Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J. A., Bond-Williams, K. E., Carter, A. S., Ross, C. L., Just, B. L., Henselmans, M., & Krieger, J. W. (2016). Longer intersession rest periods enhance muscle strength and hypertrophy in resistance-trained men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(7), 1805-1812.
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368-373.
- Seynnes, O. R., Erskine, R. M., Maganaris, C. N., Longo, S., Simoneau, E. M., Grosset, J.-F., & Narici, M. V. (2009). Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *Journal of Applied Physiology*, 107(2), 523-530.
- Sheikholeslami-Vatani, D., Ahmadi, S., Chehri, B., & Tadibi, V. (2018). The effect of changes in concentric-eccentric contraction time ratio on hormonal response to resistance exercise in trained men. *Science & Sports*, 33(3), 164-168.
- Shepstone, T. N., Tang, J. E., Dallaire, S., Schuenke, M. D., Staron, R. S., & Phillips, S. M. (2005). Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1768-1776.
- Shibata, K., Takizawa, K., Nosaka, K., & Mizuno, M. (2018). Effects of Prolonging Eccentric Phase Duration in Parallel Back-Squat Training to Momentary Failure on Muscle Cross-Sectional Area, Squat One Repetition Maximum, and Performance Tests in University Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. doi: 10.1519/jsc.0000000000002838
- Šimunič B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavic, I. B., & Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1619-1625.
- Šimunič, B. (2012). Between-day reliability of a method for non-invasive estimation of muscle composition. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 527-530.

- Šimunič, B., Degens, H., Rittweger, J., Narici, M., Mekjavic, I. B., & Pišot, R. (2011). Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1619-1625.
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology. *Sports Medicine*, 38(7), 527-540.
- Stojiljković, S., Mitić, D., Mandarić, S., i Nešić, D. (2012). *Personalni fitnes*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.
- Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2), 38.
- Tanimoto, M., Sanada, K., Yamamoto, K., Kawano, H., Gando, Y., Tabata, I., & Miyachi, M. (2008). Effects of whole-body low-intensity resistance training with slow movement and tonic force generation on muscular size and strength in young men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1926-1938.
- Tax, A., van der Gon Denier, J., Gielen, C., & Kleyne, M. J. (1990). Differences in central control of m. biceps brachii in movement tasks and force tasks. *Experimental Brain Research*, 79(1), 138-142.
- Terada, K., Kikuchi, N., Burt, D., Voisin, S., & Nakazato, K. (2020). Low-Load Resistance Training to Volitional Failure Induces Muscle Hypertrophy Similar to Volume-Matched, Velocity Fatigue. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Volume Publish Ahead of Print, doi: 10.1519/JSC.0000000000003690
- Than, C., Tosovic, D., Seidl, L., & Brown, J. M. (2016). The effect of exercise hypertrophy and disuse atrophy on muscle contractile properties: a mechanomyographic analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 116(11-12), 2155-2165.
- Tipton, K., & Wolfe, R. R. (1998). Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 377-387.
- Toskić, L., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & Jeknić, V. (2016). The neuromechanical functional contractile properties of the thigh muscles measured using tensiomyography in male athletes and non-athletes. *Fizička kultura*, 70(1), 34-45.
- Toskić, L., Dopsaj, M., Stanković, V., & Marković, M. (2019). Concurrent and predictive validity of isokinetic dynamometry and tensiomyography in differently trained women and men. *Isokinetics and Exercise Science*, 27(1), 31-39.
- Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biology International*, 24(5), 263-272.
- Višnjić, D., Jovanović, A., i Miletić, K. (2004). *Teorija i metodika fizičkog vaspitanja*. Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30-43.

- Wakahara, T., Fukutani, A., Kawakami, Y., & Yanai, T. (2013). Nonuniform muscle hypertrophy: Its relation to muscle activation in training session. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2158-2165.
- Watanabe, Y., Tanimoto, M., Ohgane, A., Sanada, K., Miyachi, M., & Ishii, N. (2013). Increased Muscle Size and Strength From Slow-Movement, Low-Intensity Resistance Exercise and Tonic Force Generation. *Journal of Aging and Physical Activity*, 21(1), 71-84. doi:10.1123/japa.21.1.71
- Wilk, M., Stastny, P., Golas, A., Nawrocka, M., Jelen, K., Zajac, A., & Tufano, J. (2018). Physiological responses to different neuromuscular movement task during eccentric bench press. *Neuroendocrinology Letters*, 39(1), 101-107.
- Wilk, M., Golas, A., Stastny, P., Nawrocka, M., Krzysztofik, M., & Zajac, A. (2018a). Does tempo of resistance exercise impact training volume? *Journal of Human Kinetics*, 62(1), 241-250.
- Wilk, M., Tufano, J. J., Zajac, A. (2020). The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal and mechanical response to resistance exercise- A mini review. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 34(8), 2369-2383.
- Wilk, M., Golas, A., Zmijewski, P., Krzysztofik, M., Filip, A., Del Coso, J., & Tufano, J. J. (2020a). The Effects of the Movement Tempo on the One-Repetition Maximum Bench Press Results. *Journal of Human Kinetics*, 72(1), 151-159.
- Wilson, M. T., Ryan, A. M., Vallance, S. R., Dias-Dougan, A., Dugdale, J. H., Hunter, A. M., Hamilton, D. J., & Macgregor, L. J. (2019). Tensiomyography Derived Parameters Reflect Skeletal Muscle Architectural Adaptations Following 6-Weeks of Lower Body Resistance Training. *Frontiers in Physiology*, 10, 1493.
- Zaciorski, V. M., & Todorović, B. (1969). *Fizičke sposobnosti sportiste*. Jugoslovenski zavod za fizičku kulturu.
- Zatsiorsky, V. (2000). *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*: Olympic Encyclopaedia of Sports Medicine, Volume IX: Wiley.
- Zatsiorsky, V. M., & Prilutsky, B. I. (2012). *Biomechanics of skeletal muscles*. Human Kinetics.
- Zhang, Z. J., Ng, G. Y., Lee, W. C., & Fu, S. N. (2014). Changes in morphological and elastic properties of patellar tendon in athletes with unilateral patellar tendinopathy and their relationships with pain and functional disability. *PLoS One*, 9(10).
- Zubac, D., & Šimunic, B. (2017). Skeletal muscle contraction time and tone decrease after 8 weeks of plyometric training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1610-1619.

BIOGRAFIJA AUTORA

Filip Kojić rođen je 12. 04. 1988. godine u Beogradu. U Beogradu je, posle završene gimnazije, upisao Medicinski fakultet. Završio je prvu godinu Medicinskog fakulteta u Beogradu i prešao na akademske studije na Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.

Fakultet je završio 8. oktobra 2014. godine sa prosečnom ocenom 7,59 i ocenom 10 na završnom radu sa temom: "Formiranje znanja i veština kod predškolske dece kroz integrisane fizičko-zdravstvene aktivnosti", čime je stekao visoko obrazovanje i stručni naziv Diplomirani profesor fizičkog vaspitanja i sporta.

Master akademske studije upisao je školske 2014/15. godine, na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Nišu, a završio u decembru 2015. godine sa prosečnom ocenom 9,00 i ocenom 10 na master radu sa temom: "Razvoj brzine i snage kod dece mlađeg školskog uzrasta zavisno od morfoloških karakteristika", čime je stekao zvanje Master profesor fizičkog vaspitanja i sporta.

Doktorske akademske studije upisao je 2016/17. godine, na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu, studijski program Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije.

U periodu od 2017. do 2018. godine bio je zaposlen na Višoj školi strukovnih studija za obrazovanje vaspitača u Kikindi, kao asistent na predmetu Metodika fizičkog vaspitanja.

Od 15.02.2018. godine zaposlen je na Učiteljskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, kao nastavnik veština na predmetu Fizičko i zdravstveno vaspitanje.

Kao sportski direktor, u vremenskom periodu od tri godine (2017-2019. godine), bio je angažovan u Karavanu «Duh mladosti», na projektu Ministarstva prosvete, gde je bio organizator i realizator sportskih manifestacija koje promovišu zdrave stilove života, sport, aktivizam, volontiranje i to u 33 opštine i grada u Srbiji. Tokom studija radio je kao trener u školici „Pokret za okret“ i bavio se personalnim fitnessom.

PRILOZI

Prilog 1. Kopija izjave o autorstvu

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора _____ Филип М. Којић _____

Број индекса _____ 5009/2016 _____

Изајављујем

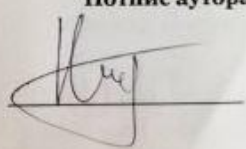
да је докторска дисертација под насловом

„Утицај две различите варијанте темпа и ритма извођења вежби са оптерећењем на морфолошке и контрактилне адаптације мишића“

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 29.11.2020



Prilog 2. Kopija izjave o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора _____ Филип М. Којић _____

Број индекса _____ 5009/2016 _____

Студијски програм Експерименталне методе истраживања хумане локомоције _____

Наслов рада „Утицај две различите варијанте темпа и ритма извођења вежби са оптерећењем на морфолошке и контрактилне адаптације мишића“ _____

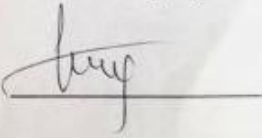
Ментор редовни професор др Станимир Стојиљковић _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 29. 11. 2020

Потпис аутора


Prilog 3. Kopija izjave o korišćenju

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Утицај две различите варијанте темпа и ритма извођења вежби са оптерећењем на морфолошке и контрастне адаптације мишића“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

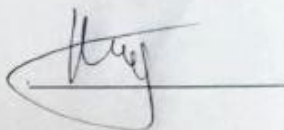
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 20.11.2020



1. **Ауторство.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољава умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

Effects of resistance training on hypertrophy, strength and tensiomyography parameters of elbow flexors: role of eccentric phase duration

AUTHORS: Filip Kojić¹, Igor Ranisavljev², Dušan Ćosić³, Dejana Popović^{4,5}, Stanimir Stojiljković², Vladimir Ilić²

¹ Teacher Education Faculty, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

² Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

³ Health Center Kovin, Department of Radiology, Kovin, Serbia

⁴ Faculty of Pharmacy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

⁵ Clinical Centre of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

ABSTRACT: The aim of the study was to compare the effects of two different training protocols, which differ in the duration of the eccentric phase, on the one-repetition maximum (1RM), thickness and contractile properties of elbow flexors. Twenty untrained college students were randomly divided into two experimental groups, based on the training tempo: FEG (Faster Eccentric Group: 1/0/1/0) and SEG (Slower Eccentric Group: 4/0/1/0). Training intervention was a biceps bending exercise, conducted twice a week for 7 weeks. The intensity (60–70% RM), sets (3–4) and rest intervals (120 s) were held constant, while repetitions were performed until it was not possible to maintain a set duration. In the initial and final measurements, 1RM, muscle thickness and tensiomyography parameters – contraction time (Tc) and radial deformation (Dm) – were evaluated. An ANCOVA model (using baseline outcomes as covariates) was applied to determine between-group differences at post-test, while Pearson's product-moment correlation coefficient was used to investigate the relationship between absolute changes in muscle thickness and Dm. Muscle strength increase was greater for SEG than for FEG (6.0 ± 1.76 vs. 3.30 ± 2.26 kg, $p < 0.01$). In both groups muscle thickness increased equally (FEG: 3.24 ± 2.01 vs. SEG: 3.57 ± 1.17 mm, $p < 0.01$), while an overall reduction in Dm was observed (FEG: 1.99 ± 1.20 vs. SEG: 2.26 ± 1.03 mm, $p < 0.01$). Values of Tc remained unchanged. A significant negative relationship was observed between changes in muscle thickness and Dm ($r = -0.763$, $\text{Adj.}R^2 = 0.560$, $p < 0.01$). These results indicate that the duration of the eccentric phase has no effect on muscle hypertrophy in untrained subjects, but that slower eccentric movement significantly increases 1RM.

CITATION: Kojić F, Ranisavljev I, Ćosić D. Effects of resistance training on hypertrophy, strength and tensiomyography parameters of elbow flexors: role of eccentric phase duration. *Biol Sport*. 2021;38(4):587–594.

Received: 2020-06-13; Reviewed: 2020-07-19; Re-submitted: 2020-08-04; Accepted: 2020-08-31; Published: 2021-01-14.

Corresponding author:
Vladimir Ilić
University of Belgrade
Faculty of Sport and Physical
Education, Serbia
Tel.: +381637732492
E-mail: vladimir.ilic@fsfv.bg.ac.rs

Key words:
Training tempo
Muscle thickness
Muscle stiffness
1RM
Tensiomyography

Prilog 5. Kopija odobrenja Etičke komisije Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu za sprovođenje predloženog eksperimenta

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
ETIČKI KOMITET

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ СПОРТА И ФИЗИЧКОГ ВАСПИТАЊА
02 Бр. 2316/19-2
09-10-2019 год.
БЕОГРАД, Благое Парасића 156

Predmet - Na zahtev zaveden pod brojem 02-2316/19-1 od 04. 10. 2019. godine, koji je podneo Filip Kojić, student doktorskih studija. Etički komitet Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu daje

S A G L A S N O S T

Za realizaciju istraživanja u okviru projekta pod nazivom „*Morfološke i kontraktilne adaptacije mišića u zavisnosti od brzine i ritma izvođenja kod treninga sa opterećenjem*“, metor prof. dr Stanimir Stojiljković.

O b r a z l o ž e n j e

Na osnovu uvida u nacrt istraživanja koji se realizuje u okviru projekata „*Morfološke i kontraktilne adaptacije mišića u zavisnosti od brzine i ritma izvođenja kod treninga sa opterećenjem*“, metor prof. dr Stanimir Stojiljković, Etička komisija Fakulteta iznosi mišljenje da se, kako u konceptu tako i u planiranju realizacije istraživanja i primene dobijenih rezultata, polazilo od principa koji su u skladu sa etičkim standardima, čime se obezbeđuje zaštita ispitanika od mogućih povreda njihove psiho-socijalne i fizičke dobrobiti.

U skladu sa iznetim mišljenjem Etička komisija Fakulteta daje saglasnost za realizaciju istraživanja planiranog projektom „*Morfološke i kontraktilne adaptacije mišića u zavisnosti od brzine i ritma izvođenja kod treninga sa opterećenjem*“, metor prof. dr Stanimir Stojiljković.

U Beogradu 07. 10. 2019.

Za Etičku komitet

Članovi

1. prof. dr Dušan Mitić
2. prof. dr Marina Đorđević-Nikić
3. van.prof. dr Ana Orlić



Prilog 6. Kopija formulara za saglasnost ispitanika za učešće u eksperimentu u skladu sa Helsinškom deklaracijom

Формулар сагласности са експерименталном процедуром

Истраживачи: Филип Којић, Станимир Стојиљковић, Владимир Илић, Игор Ранисављевић, Дејана Поповић

Име и презиме учесника (штампаним словима): _____

1. Опис истраживања:

Позвани сте да учествујете у истраживању које има за циљ да испита утицај различите брзине тренинга са оптерећењем на 1) промене у величини мишића и 2) промене у контрактилним својствима мишића.

Истраживање ће трајати 10 недеља: 2 недеље фамилиризација и 8 недеља трајања третмана. Сам третман ће представљати вежбе Бицепс прегибна Скотовој кугли и Чучањ. Два до три дана пре, и након третмана ће се ултразвучном дијагностиком утврдити дебелина и анатомски ПШ мишића Бицепса и Квадрицепса. Такође, у истом временском интервалу ће се спровести испитивање контрактилних својстава мишића - ТМГ анализом.

Бићете селектирани у једну, од две експерименталне групе, које ће се разликовати у брзини извођења наведених вежби. Интензитет (65-70%RM), пауза (2мин) и број серија ће бити исти за обе групе. У прве три недеље трајања третмана изводиће се 3 серије, а у преостале 4 недеље изводиће се 4 серије сваке вежбе. Понављања сваке серије ће се изводити до отказа.

2. Услови учествовања у истраживању:

Сви добијени подаци ће бити поверљиви. У случају повреде примићете прву помоћ. Ако вам буде потребна додатна медицинска помоћ, ви ћете бити одговорни за њу. Иматећете право да прекинете учешће у експерименту у било ком тренутку.

3. Критеријуми за учествовање у истраживању:

У истраживању могу учествовати студенти факултета спорта и физичког васпитања, који нису имали повреде локомоторног апарата и који немају неуролошка обољења.

4. Могући ризик и бенефиције:

Могући ризик: Као и код сваког вежбања, постоји ризик од појаве мишићног замора, који је пролазног карактера. Бенефиција: Едукативни карактер, Позитиван утицај на морфо-функционалне карактеристике третираних мишића.

5. Контакт:

За додатна питања и информације можете се обратити Којићу Филипу, број телефона 069/161-75-90.

6. Потврда испитаника:

Прочитао сам овај документ и природа мог учешћа, захтеви, ризици и бенефиције су ми објашњени. Свесан сам ризика и разумем да у сваком тренутку и без последица могу да повучем свој пристанак за учешће у експерименту. Копија овог документа ми је дата.

Потпис испитаника: _____

Датум: _____