

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA

Aleksandar R. Borisavljević

**AKUTNI EFEKTI PRIMENE VIBRACIONE
SAMOMASAŽE NA ISPOLJAVANJE
RAZLIČITIH KARAKTERISTIKA MIŠIĆNE
JAČINE**

doktorska disertacija

Beograd, 2023.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION

Aleksandar R. Borisavljević

**ACUTE EFFECTS OF SELF-ADMINISTERED
VIBROMASSAGE ON MANIFESTATION OF
DIFFERENT MUSCLE STRENGTH
CHARACTERISTICS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2023.

Informacije o mentoru i članovima komisije

MENTOR

1. Redovni profesor dr Milivoj Dopsaj, Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.

ČLANOVI KOMISIJE:

1. Docent dr Marko Ćosić, Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik komisije;

2. Vanredni profesor dr Igor Ranisavljev, Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član;

3. Redovni profesor dr Dragan Radovanović, Univerzitet u Nišu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član.

Datum odbrane

AKUTNI EFEKTI PRIMENE VIBRACIONE SAMOMASAŽE NA ISPOLJAVANJE RAZLIČITIH KARAKTERISTIKA MIŠIĆNE JAČINE

Sažetak

U disertaciji su predstavljeni rezultati istraživanja sa ciljem da se ispituju akutni efekti primene vibracione samomasaže na mišićima zadnje strane potkolenice, odnosno plantarnim fleksorima. Uzorak istraživanja su činila 23 rekreativno trenirana zdrava muška ispitanika, dok su u konačnoj analizi obrađeni podaci za 20 ispitanika. Prosečne vrednosti karakteristika ispitanika su bile: uzrast 25.5 godina, telesna visina 185.1 cm, telesna masa 81.1 kg, indeks telesne mase 23.7, procenat skeletnih mišića 50.0 %. U istraživanju je korišćen eksperimentalni dizajn na istoj grupi ispitanika tokom četiri eksperimentalne sesije. Analizirano je šest zavisnih varijabli i jedna izvedena varijabla: Maksimalna voljna mišićna jačina - sila (F_{max}) izražena u njutnima (N), vreme maksimalne voljne mišićne jačine (tF_{max}) izražena u sekundama (s), maksimalna brzina voljnog razvoja mišićne jačine (RFD_{max}) izražena u njutnima po sekundi (N/s), vreme maksimalne brzine voljnog razvoja mišićne jačine ($tRFD_{max}$) izražena u sekundama (s), površinska elektromiografska aktivnost mišića gastrocnemiusa medijalne glave obe noge (pEMG_l) i (pEMG_d) izražena kao izlazna vrednost u softveru RMS_{max} (eng. Root mean square), a za analizu predstavljena kao prosečna vrednost obe noge pEMG_AVG, izražena u mikrovoltima (μV), temperatura mišića gastrocnemiusa medijalne glave obe noge merena indirektnom metodom (T_m), izražena u stepenima celzijusa ($^{\circ}C$), predstavljena kao prosečna vrednost obe noge T_m_AVG i izvedena varijabla-indeks sinergije SI (RFD_{max}/F_{max}). Ispitanici su nakon opšteg i specifičnog zagrevanja izvodili maksimalne voljne izometrijske kontrakcije (tri pokušaja razdvojena sa dva minuta pauze) mišića plantarnih fleksora obe noge istovremeno u sedećem položaju, što brže i što jače na znak istraživača nakon čega je usledio vibracioni foam roler tretman (VFR) u trajanju od 15, 30 i 60 sekundi na mišićima plantarnim fleksorima. Kontrolni tretman je bio bez VFR. Nakon tretmana usledila su tri testa sa po tri maksimalna pokušaja na isti način kao pre tretmana. Analiza varijanse sa ponovljenim merenjima dovela je do rezultata i zaključaka čijom sublimacijom je formulisana generalna preporuka da za primenu u trenažanoj praksi u cilju pripreme za zagrevanje ili u sklopu zagrevanja VFR tretman kraćeg trajanja (15 sekundi) treba izbegavati kod aktivnosti koje se mogu karakterisati kao brze i eksplozivne jer negativno utiče na sposobnost ispoljavanja maksimalne brzine voljnog razvoja mišićne jačine (RFD_{max}).

Ključne reči: Foam roler, vibracioni foam roler, mišićna jačina, elektromiografija, plantarni fleksori, muškarci, rekreativci.

Naučna oblast: Fizičko vaspitanje i sport.

Uža naučna oblast: Nauke fizičkog vaspitanja, sporta i rekreacije.

UDK broj: 615.82:796.012.11(043.3)

ACUTE EFFECTS OF SELF-ADMINISTERED VIBROMASSAGE ON MANIFESTATION OF DIFFERENT MUSCLE STRENGTH CHARACTERISTICS

Abstract

In this dissertation are presented the results of a research with the aim to examine the acute effects of vibration foam roller treatment on output of the plantar flexor muscles. In the research participants were 23 healthy recreationally trained men while in the final analysis data were included from 20 participants. Mean values of participants characteristics were: age 25.5 years, body height 185.1 cm, body mass 81.1 kg, body mass index 23.7, percentage of skeletal muscle mass 50.0. Experimental design was applied to the same group of participants during four experimental sessions. In the focus were six dependent variables and one index variable: maximal voluntary muscle strength-force (F_{\max}) in unit Newton (N), time of maximal voluntary muscle strength (tF_{\max}) in unit second (s), maximal rate of force development (RFD_{\max}) in unit Newton/seconds (N/s), time for RFD_{\max} ($tRFD_{\max}$) in unit second (s), surface electromyography of the gastrocnemius muscle medial head as average of both legs in unit microvolt (μV), temperature of the gastrocnemius muscle medial head as average of both legs in unit Celsius degrees ($^{\circ}C$) and index variable-synergy index SI (RFD_{\max}/F_{\max}). After general and specific warmup participants performed initial test, maximal voluntary isometric contraction of plantar flexor muscles of both legs simultaneously in a seated position on the examiner word „Go” with maximal speed and effort (three attempts separated with two minutes break). After initial test vibration foam roller treatment (VFR) was self-applied on plantar flexors muscles of each leg in duration of 15, 30 and 60 seconds. Control treatment was without VFR. After treatment three tests followed in the same manner as initial. Analysis of variance with repeated measures produced the significant results which led to a summary of conclusions in a final form of general recommendation for exercise training practice where the aim is to improve prewarmup or warmup performance followed by fast and explosive exercise activities short duration VFR treatment should be avoided because it negatively affects the voluntary maximal rate of force development.

Keywords: Foam roller, vibrating foam roller, muscle strength, electromyography, plantar flexors, men, recreationally trained.

Scientific field: Physical education and sport.

Narrow scientific field: Science of physical education, sports and recreation.

UDC number: 615.82:796.012.11(043.3)

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	PRETHODNA ISTRAŽIVANJA	8
3.	PILOT ISTRAŽIVANJE.....	9
4.	PROBLEM, PREDMET I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	11
5.	HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	12
6.	METODE ISTRAŽIVANJA	13
7.	METOD OBRADE PODATAKA	16
8.	REZULTATI	16
8.1.	Rezultati karakteristika maksimalne mišićne jačine.....	17
8.2.	Rezultati karakteristika maksimalne eksplozivne mišićne jačine.....	20
8.3.	Rezultati temperature mišića.....	31
8.4.	Rezultati površinske elektromiografske aktivnosti mišića.....	37
9.	DISKUSIJA	42
9.1.	Diskusija rezultata karakteristika maksimalne mišićne jačine	42
9.2.	Diskusija rezultata karakteristika maksimalne eksplozivne mišićne jačine.....	43
9.3.	Diskusija rezultata indeksne varijable SI (indeks sinergije)	44
9.4.	Diskusija rezultata temperature mišića	44
9.5.	Diskusija rezultata pEMG.....	45
9.6.	Metodološka razmatranja.....	46
10.	ZAKLJUČAK	47
11.	LITERATURA	49
12.	PRILOG.....	54
12.1.	Bibliografija	54
12.2.	Biografija	55
12.3.	Potpisane izjave.....	56

1. UVOD

Masaža kao tretman kod ljudi je prisutna od davnina. Čovek intuitivno kod određenih bolnih stanja primenjuje dodir sa ciljem da određene simptome olakša. Prvo pominjanje masaže datira iz 2598. godine p.n.e. u kineskim medicinskim knjigama, a takođe antički indijski i grčki spisi, uključujući radove Hipokrata pominju masažu kao efikasnu terapiju za sportske i ratne povrede, dok era moderne masaže počinje njenom sistematskom klasifikacijom tehnika objavljenom u radu 1863. godine (Goats, 1994). Masaža spada u posebnu medicinsku disciplinu, koja se naziva Fizikalna medicina. Fizikalna medicina predstavlja medicinsku disciplinu koja izučava biološko delovanje raznih oblika fizičke energije na naš organizam kao i primenu fizičkih agenasa u cilju profilakse, dijagnostike, terapije, metafilakse i medicinske rehabilitacije (Nedvidek, 1986). Fizikalna medicina se deli na: fizikalnu profilaksu, fizikalnu dijagnostiku i fizikalnu terapiju, a u okviru fizikalne terapije pored brojnih oblasti je i mehanoterapija, koja predstavlja najstarije oblike fizikalne terapije koju je čovek primenjivao u cilju oslobađanja bola i održanja ili poboljšanja lokomotornog aparata (Jevtić, 1999). Mehanoterapija se prema vrstama deli na: manuelnu masažu, specijalne oblike masaže, aparaturna masaža itd (Jevtić, 1999). Aparaturna masaža podrazumeva upotrebu određenih uređaja za izvođenje terapije, na primer vibromasaža, hidromasaža itd.

Akumulacija naučnih saznanja sa jedne strane i razvoj instrumenata sa druge doprineo je bržem razvoju modernih tehnika masaže. Masaža u sportu, rekreaciji i rehabilitaciji može da se koristi na početku, tokom ili po završetku fizičke aktivnosti, a u cilju poboljšanja i oporavka sposobnosti. Najčešće se u praksi sreće upotreba na početku i na kraju fizičke aktivnosti. Utvrđeno je da klasična masaža u trajanju od pet minuta produžava vreme kontrakcije mišića, međutim, potrebno je još kvalitetnih istraživanja kada je u pitanju uticaj masaže u funkciji predtakmičarske aktivnosti (Pérez-Bellmunt et al., 2021).

Kako određene tehnološke inovacije napreduju tako aparati za izvođenje masaže postaju lako dostupni krajnjem korisniku, jednostavni za korišćenje i veoma popularni. Popularnost odnosno rasprostranjenost upotrebe nekog aparata za određenu terapiju, konkretno za samomasažu, ne znači nužno da postoji jasna opravdanost u pogledu naučne zasnovanosti za tu konkretnu upotrebu u skladu sa određenim ciljevima, odnosno željenim efektima. To je slučaj sa valjkom za samomasažu (eng. Foam roller, roller massager, Slika 1 i 2).



Slika 1. Foam roller



Slika 2. Roller massager

Foam Roler (FR) je u poslednjoj deceniji postao toliko masovno rasprostranjen da su gotovo retki sportovi gde njegova upotreba nije na dnevnom nivou (Slika 1). Takođe, učestala je upotreba u

rekreaciji i rehabilitaciji. Oblast rehabilitacije je mesto odakle FR vuče svoje korene, nastavši u okviru „Feldenkrais metode“ (Barrows) pre više od šest decenija. Može se reći da sa hronološkog aspekta i ne predstavlja inovaciju ali sa aspekta učestalosti upotrebe posebno u poslednjih nekoliko godina, na određeni način ipak ima inovacioni karakter. Komercijalni FR se proizvodi najčešće u dve veličine, i to prečnika 15 cm i dužine 90 cm, a u upotrebi je najčešće drugi u dužini od 36 cm, i to zbog mogućnosti da ga korisnik nosi sa sobom. Vrlo je lagan, jednostavan i praktičan za korišćenje, a i zbog povoljne cene postao je vrlo popularan. U velikoj meri njegova upotreba ima slične efekte kao i manuelna masaža što je još jedan razlog njegove rasprostranjene upotrebe. Najčešće je napravljen od šupljeg plastičnog cilindra koji je obložen penastim elastičnim materijalom glatke do izrazito reljefaste teksture. Korisnik pomoću težine svog tela i određenog segmenta tela tretira meka tkiva tako što oslanjajući željeni segment tela na FR vrši pritisak na tkiva rolanjem. Rolanjem preko FR menjaju se karakteristike tih tkiva. Mnogi potencijalni efekti FR su povezani sa različitim parametrima kao što su mehanički, fiziološki, neurološki i psihofiziološki (Wiewelhove et al., 2019). Za razliku od FR, roler masažer (Slika 2) se upotrebljava korišćenjem ruku. Mehanički pritisak na mišićno tkivo može uticati na voljnu aktivaciju (Cavanaugh et al., 2017). Tendencija većih efekata na oporavak svojstava mišićne jačine je veća u korist upotrebe FR u odnosu na roler masažer (Wiewelhove, et al., 2019). Korisnici FR tretmana (FRt) mogu birati tip FR prema svojoj potrebi jer je upotreba mekanog, tvrdog i FR izrazito reljefaste teksture u istraživanju na 20 ispitanika dala slične rezultate kada je u pitanju uticaj na poboljšanje fleksibilnosti mišića zadnje lože natkolenice (Kim, Lee, & Ryu, 2022). Ograničenje pomenute studije u pogledu primene ovih nalaza na druge populacije je to što su ispitanici u navedenoj studiji bili sa deficitom fleksibilnosti mišića zadnje lože natkolenice.

Sličnost efekata FRt i manuelne masaže reflektuje se kroz poboljšanu cirkulaciju, hiperemiju, smanjenje bolnih senzacija, mobilizaciju mekih tkiva, ubrzanje oporavka, poboljšanje fleksibilnosti itd. Često se u literaturi upotreba FR naziva automiofascijalni oslobađajući tretman. Kako se fascija tretira tako se menjaju njene tiksotropne karakteristike, smanjuje se viskoznost tako da miofascijalne oslobađajuće tehnike omogućavaju fasciji da bude u mekšem stanju (Sefton, 2004). Prekomerna i česta naprezanja odnosno upotreba određenih mekih tkiva u sportu, rekreaciji ili profesiji koja zahteva naporan i ponavljajući rad može dovesti do određenih nepoželjnih stanja zdravlja, a iste efekte može proizvesti i dugotrajna neaktivnost.

Ponavljajući stres na meka tkiva tela, a izazvan fizičkim opterećenjima odnosno sportskim treningom, može izazvati stvaranje abnormalnih poprečnih veza i ožiljnog tkiva u fasciji koji mogu uticati na pravilnu biomehaniku i smanjiti amplitudu pokreta nekog zgloba (MacDonald et al., 2013). Miofascijalne oslobađajuće tehnike mogu smanjiti bol i spazam, razbijajući adhezivne promene koje su nastale u bolnim upalnim stanjima i predstavljaju jednostavne i jeftine tehnike za mnoge mišićno-skeletne poremećaje (Paolini, 2009). Jedan od ranije predloženih mehanizama dejstva FR je upravo promena tiksotropnih svojstava fascije koja okružuje mišiće. In vitro istraživanja pokazala su da hidratacija fascije menja biomehaničke karakteristike tkiva (R. Schleip et al., 2012). Poboljšana cirkulacija prilikom upotrebe FR ogleda se u činjenici da u trajanju od jednog minuta po mišićnoj grupi, a na nekoliko mišićnih grupa dovodi do povećanja koncentracije azotoksida u krvi koji utiče na poboljšanje endotelne funkcije krvnih sudova i krutosti arterija (Okamoto, Masuhara, & Ikuta, 2014). Kako je pritisak koji je potreban da bi se fascija deformisala veći od onog koji se postiže prilikom upotrebe FR (R Schleip, 2003), ovaj mehanizam ostaje diskutabilan.

Fascija je sačinjena od koloidnih supstanci koje postaju mekanije kada se podvrgnu toploti i mehaničkom pritisku (de Souza et al., 2019) međutim, taj tiksotropični efekat traje koliko i dejstvo toplote i mehaničkog pritiska nakon čega se vraća u prvobitno stanje (R Schleip, 2003). Drugi potencijalni mehanizam dejstva FRt je putem autogene inhibicije mehanoreceptora, odnosno

Goldžijevih tetivnih organa (GTO) koji sprečavaju povredu mišića rastezanjem (Larson, 2014). Kako inhibicija GTO prestaje odmah nakon prestanka napetosti u tetivi (Behm & Chaouachi, 2011) i ovaj mehanizam ne pruža dovoljno objašnjenja o dejstvu FRt. Jedno od mogućih objašnjenja posebno kada je u pitanju uticaj ovog tretmana na fleksibilnost jeste efekat na sistem regulacije bola (Aboodarda, Spence, & Button, 2015; Wiewelhove, et al., 2019). FRt izaziva globalne efekte u telu (Aboodarda, et al., 2015; Cavanaugh, Döweling, et al., 2017; Kelly & Beardsley, 2016). Primer je istraživanje (E. R. Monteiro et al., 2017a) gde su primećena poboljšanja prilikom izvođenja čučnja bez obzira na tretirani segment tela, plantarni deo stopala, spoljni deo natkolenice ili leđni mišić latissimus dorsi.

Kada je u pitanju bavljenje fizičkom aktivnošću i njen manifestni prostor - sport, rekreacija, fizičko vaspitanje i rehabilitacija, odnosno kineziterapija, sve veći broj naučnih istraživanja poslednjih godina se realizuje sa temom uticaja upotrebe FR na fizičke sposobnosti čoveka. Jedna od tih sposobnosti gde je upotreba ovakvog tretmana našla svoje opravdano mesto u trenažnom procesu jeste *fleksibilnost*, kako u delu procesa koji se odnosi na oporavak sposobnosti nakon fizičke aktivnosti tako i u delu procesa koji se odnosi na poboljšanje sposobnosti pre fizičke aktivnosti. Veći broj istraživanja bavio se uticajem automiofascijalnog oslobađajućeg tretmana upotrebom FR na sposobnost ispoljavanja fleksibilnosti, a rezultati tih istraživanja su pozitivni (Cheatham, Kolber, Cain, & Lee, 2015; Wiewelhove, et al., 2019). Primera radi Vevelhov je sa saradnicima utvrdio (Wiewelhove, et al., 2019) da 62% populacije oseća kratkotrajna poboljšanja fleksibilnosti kada se FRt sprovodi pre fizičke aktivnosti, u funkciji pripreme za vežbanje tj. fazi zagrevanja. Da postoje jasni korisni akutni efekti FRt na poboljšanje amplitude pokreta zaključak je meta analize (Skinner, Moss, & Hammond, 2020), međutim, dugoročni efekti su nejasni. Najefikasniji rezultati za poboljšanje fleksibilnosti donjih ekstremiteta postignuti su kombinacijom FRt i vežbi statičkog rastezanja (Feldbauer, Smith, & Van Lunen, 2015). Istraživači su zaključili da uticaj ove vrste tretmana, upotreba roler masažera, aktivira neuralne mehanizme, koji izazivaju smanjenje spinalne ekscitabilnosti mišića soleusa (Young, Spence, & Behm, 2018).

Uzimajući u obzir činjenicu da je upotreba FRt široko rasprostranjena, u odnosu na tu činjenicu sa druge strane broj istraživanja koji se bave drugim aspektima uticaja ovog tretmana je i dalje nedovoljan zbog čega upravo i nema konsenzusa oko optimalnog protokola za dati tretman, a posebno kada je u pitanju ispoljavanje nekih drugih fizičkih sposobnosti. Zbog heterogenosti metoda koje su korišćenje u studijama, trenutno nema konsenzusa oko optimalnog automiofascijalnog oslobađajućeg tretmana, a postojeća literatura pruža određene dokaze o korisnosti ove metode u kliničkoj praksi, međutim, određena ograničenja treba da budu uzeta u obzir prilikom integracije tih metoda (Cheatham, et al., 2015). Nema dovoljno istraživačkih studija visokog kvaliteta o upotrebi FR da bi se mogli izvesti konačni zaključci. Zbog heterogenosti metodološkog dizajna uključenih studija u analizu nema konsenzusa za optimalni tretman dok postojeća literatura ipak pruža određene dokaze za upotrebu u sportskoj praksi, međutim, ograničeni dokazi treba da budu uzeti u obzir pre integracije FRt u aktivnosti za pripremu za fizička naprezanja i oporavak od istih (Wiewelhove, et al., 2019).

Do sada je utvrđeno da upotreba foam rolera i roler masažera može smanjiti brzinu opadanja mišićnih sposobnosti i osećaj bola nakon intenzivnog vežbanja (Cheatham, et al., 2015). Skoro potpuno odustvo negativnih efekata može ići u prilog korišćenja FRt kada je usmeren na oporavak sposobnosti (Wiewelhove, et al., 2019). Većina istraživanja bavila se efektima tretmana pre i posle, odnosno, na početku zagrevanja, tj. pripreme za fizičku aktivnost sa ciljem poboljšanja sposobnosti i po završetku fizičke aktivnosti sa ciljem ubrzanja oporavka. Interesantno je da se vrlo mali broj istraživanja bavio efektima tretmana tokom trajanja pauze u toku fizičke aktivnosti. U istraživanjima realizovanim pod rukovodstvom Monteiro i saradnika (E. Monteiro et al., 2017; Monteiro & Neto, 2016; E. R. Monteiro et al., 2017b) utvrđeno je da upotreba FRt u pauzama tokom fizičke aktivnosti ima negativan uticaj na

spodobnost proizvodnje kontinuirane mišićne jačine. Sa druge strane, novo istraživanje (Santana et al., 2021) došlo je do pozitivnog nalaza, naime FRt između serija, za mišiće agoniste i antagonistu posebno ili sukcesivno doveo je do poboljšanja neuromišićne sposobnosti, boljih pokazatelja ispoljavanja zamora i smanjenja percepcije akutne mišićne upale. Međutim, koliko god da određene prethodne tvrdnje donose u jednoj meri opravdanost za primenu FR u cilju oporavka, sa druge strane kada je u pitanju sposobnost mišićne jačine i menjanje njenih karakteristika primenom FRt pre početka fizičke aktivnosti tj. u funkciji pripreme efekat primene ove metode ostaje i dalje nerazjašnjen jer nalazi dosadašnjih istraživanja idu u korist, a i protiv primene tretmana kada je usmerenost na mišićnu jačinu u pitanju. Buduća istraživanja treba takođe da istraže fiziološke efekte auto-miofascijalne oslobađajuće tehnike na mišićno tkivo (Feldbauer, et al., 2015).

Mišićna jačina, kao jedna od dominantnih fizičkih sposobnosti čoveka u značajnoj meri može odrediti ishod fizičke aktivnosti kako u pogledu postizanja rezultata tako i u pogledu bezbednosti osobe u smislu adekvatnog suprotstavljanja unutrašnjem i spoljašnjem opterećenju kao proizvodu fizičke aktivnosti. Za menjanje ove sposobnosti i njenih karakteristika posredstvom FRt nužno je postojanje jasnih i nedvosmislenih smernica za postizanje optimalnih efekata usmerenih na poboljšanje posebno u funkciji pripreme za konkretnu fizičku aktivnost.

Kontradiktorni nalazi istraživanja efekata FRt usmerenog na sposobnost mišićne jačine nalažu opreznost u primeni tog tretmana od strane svih učesnika u sportskoj, rekreativnoj, fizičkom vaspitanju i rehabilitacionoj praksi.

Kratkotrajni FRt u trajanju od tri serije po 30 sekundi izazvao je smanjenje mišićne jačine u prvih 200 milisekundi prilikom maksimalne voljne izometrijske kontrakcije (MVIC), verovatno zbog neuralnih mehanizama povezanih sa Ia, II, III i IV aferentnom inhibicijom (Cavanaugh et al., 2017). Slični rezultati su utvrđeni i kod drugog istraživanja (Ye, Killen, Zelizney, Miller, & Jeon, 2019) gde je u prvih 50 milisekundi smanjena mišićna jačina kod mišića zadnje lože netretirane (testirane) noge prilikom maksimalne voljne eksplozivne izometrijske kontrakcije, a nakon deset serija po 30 sekundi FRt mišića zadnje lože koja nije testirana (tretirana noga).

Sa druge strane istraživanje sa ciljem da se utvrdi da li FRt pre fizičke aktivnosti može poboljšati određene atletske performanse (Healey, Hatfield, Blanpied, Dorfman, & Riebe, 2014) došlo je do zaključka da FRt u trajanju od 30 sekundi, na nekoliko mišićnih grupa, a ukupnog trajanja od pet minuta nije imao efekta na poboljšanje fizičkih sposobnosti (visinu vertikalnog skoka, agilnosti, snage i mišićne jačine pri izometrijskom testiranju). Na uzorku od 30 rekreativno treniranih ispitanika oba pola, upotreba FRt na mišićima zadnje i prednje strane natkolenice naizmeničnim redosledom u trajanju od 30 sekundi po 3 serije nije dovela do smanjenja mišićne jačine pri testiranju na izokinetičkom dinamometru (Su, Chang, Wu, Guo, & Chu, 2017), stoga autori sugerišu da FRt može biti efikasan pre glavne faze treninga za poboljšanje fleksibilnosti, a bez negativnog uticaja na mišićnu jačinu.

Jedno od novopublikovanih istraživanja je takođe došlo do zaključka da FRt u trajanju od 30 sekundi, tri serije po 30 sekundi i deset serija po 30 sekundi nije doveo do značajnih razlika kada je u pitanju MVIC (Nakamura, Onuma, et al., 2021). Upotreba roler masažera na mišićima fleksora zgloba lakta u trajanju od pet minuta nije imala efekta na oporavak MVIC kod 36 fizički aktivnih zdravih muških ispitanika (Medeiros et al., 2020). Pri ekstenziji u zglobu kolena, MVIC je bila povećana 30 minuta (Macgregor, Fairweather, Bennett, & Hunter, 2018), nakon dva minuta FRt svakog dana, a u toku tri uzastopna dana u poređenju sa kontrolnom grupom koja nije imala tretman.

Povećana amplituda pokreta mišića zadnje lože natkolenice je rezultat istraživanja (Madoni, Costa, Coburn, & Galpin, 2018) nakon FRt u trajanju od tri serije po 30 sekundi, dok su ostale nepromenjene vrednosti mišićne jačine kod odnosa mišića zadnje/prednje lože natkolenice pri testiranju na izokinetičkom dinamometru. Sportisti i treneri treba da razumeju potencijalni uticaj FRt na sposobnosti i da pažljivo odrede koliko je potrebno tretmana, ako je uopšte potrebno, u toku aktivnosti zagrevanja, odnosno pripreme za sportski nastup, takođe za aktivnosti eksplozivnog karaktera, na primer skokove, tretman dužeg trajanja od 60 sekundi treba izbegavati (Phillips, Diggin, King, & Sforzo, 2021).

Visina vertikalnog skoka nije se promenila nakon FRt u trajanju od dve serije po 30 ponavljanja za mišiće prednje lože natkolenice i zadnje lože potkolenice (Baumgart et al., 2019). Interesantan je nalaz najnovijeg publikovanog istraživanja (Klich et al., 2022) u kome je na uzorku od 32 studenta sportista u testu sprint na 15m došlo do poboljšanja rezultata, u rasponu od 5. do 30. minuta nakon FRt. Meta-analiza (Glänzel et al., 2022) donosi zaključak na osnovu obrađenih istraživanja da FRt nema uticaja na mišićnu jačinu u izometrijskim uslovima kao i na brzinu razvoja mišićne jačine, međutim, dokazi iz obrađenih studija pružaju malu izvesnost da bi se tvrdilo da FRt ne može promeniti navedene sposobnosti i da u skladu sa tim treba još studija višeg kvaliteta primenjene metodologije kako bi se bolje procenili efekti FRt na miofascijalnu krutost i mišićnu jačinu. Do sličnih nalaza došlo se u meta-analizi (Skinner, et al., 2020) u kojoj autori sugerišu da nema negativnih efekata FRt na pokazatelje atletskih performansi ali ne može biti zaključeno da je FRt direktno koristan za poboljšanje MVIC, mišićne jačine i snage.

Intenzitet rolanja je jedan od faktora koji bi mogao da ima uticaj na efekte tretmana, a kako se prag bola razlikuje kod osoba jasno je da pored težine tretiranog segmenta tela subjektivan osećaj prilikom povećanja pritiska na roler postaje važan faktor. Različit intenzitet rolanja opsega 50-90% maksimalne neprijatnosti nije imao diferencijalne efekte na merene varijable mišićne jačine i snage, a ovaj nalaz je od kliničke važnosti imajući u vidu da nije potrebno dostizati nivo neprijatnosti prilikom tretmana da bi se postigli pozitivni efekti na fleksibilnost (Grabow et al., 2018).

Mehaničko delovanje na tkiva promenom pritiska na tkiva kao i promena temperature su efekti koji bi potencijalno menjali prethodno pomenuta tiksotropna svojstva tkiva. Promena tih svojstava bi doprinela efikasnosti FRt (Murray, Jones, Horobeanu, Turner, & Sproule, 2016). Promena temperature mišića može da utiče na kontraktilne karakteristike kao što je vreme kontrakcije i sposobnost produkcije mišićne jačine (Ranatunga, Sharpe, & Turnbull, 1987). Uticaj FRt na promenu temperature mišića je neistražen. FRt u trajanju od 60 sekundi nije imao uticaja na promenu mišićne kontraktilnosti i temperature (Murray, et al., 2016). Ako se uzme u obzir da je broj istraživanja koji se bave ovom problematikom nedovoljan, buduća istraživanja mogla bi biti usmerena u tom pravcu.

Kada je u pitanju upotreba tretmana u funkciji *zagrevanja*, očigledna poboljšanja postaju izraženija kod kompleksnijih i repetitivnih motoričkih zadataka (Wiewelhove, et al., 2019). Merenje promene akcionih potencijala skeletnih mišića pomoću površinskih elektroda odnosno površinske elektromiografije (pEMG) može dati uvid u određene efekte primene FRt. Upotreba FRt može poboljšati mišićnu efikasnost putem smanjenja pEMG vrednosti pri izvođenju određenih motoričkih zadataka. Na uzorku od deset rekreativno treniranih muškaraca utvrđeno je da prilikom izvođenja iskoraka tretman roler masažerom u trajanju od 20 i 60 sekundi, a silom od 25% telesne težine izaziva smanjenje pEMG vrednosti mišića opružaća zgloba kolena što se može tumačiti kao poboljšana efikasnost pokreta pri istom zadatom motoričkom zadatku u odnosu na kontrolnu grupu (Bradbury-Squires et al., 2015). Do istih zaključaka u istraživanju došao je i Mekgregor sa saradnicima, a na uzorku od 16 aktivnih muškaraca (MacGregor, et al., 2018). FRt trajanja 2 minuta na mišićima

opružačima zgloba kolena dominantne noge izazvao smanjenje pEMG vrednosti mišića pri izometrijskoj kontrakciji koja je iznosila 50% od maksimalne vrednosti postignute na inicijalnom testiranju pri istom zadatku, a u poređenju sa kontrolnim uslovima (bez tretmana). Ovaj nalaz se takođe tumači kao poboljšana mišićna efikasnost jer je za isti zadatak pri istom intenzitetu napora postignuta manja pEMG vrednost. Pretpostavlja se da povećana efikasnost proizlazi iz efikasnijeg ciklusa izduženja-skraćenja mišića (eng. Stretch-Shortening Cycle, SSC) (Bradbury-Squires, et al., 2015). Vežbe koje uključuju SSC koriste akumulaciju energije elastične deformacije tokom ekscentrične faze mišićne kontrakcije da bi se povećala koncentrična faza mišićne kontrakcije (Komi & Bosco, 1978). Povećana stišljivost mišićnog tkiva (smanjena krutost) može povećati sposobnost mišićno-tetivne jedinice da akumulira energiju elastične deformacije u dužem periodu (Behm & Chaouachi, 2011). Ispitanici sa većom krutošću mišićnog tkiva su manje sposobni da savladaju opterećenje prilikom doskoka sa većih visina u odnosu na one koji imaju manju krutost mišića, a razlog je da kruća mišićno-tetivna jedinica ima smanjenu sposobnost da se suprotstavi većem opterećenju (Walshe & Wilson, 1997).

Sa druge strane istraživanje na uzorku od 22 rekreativno trenirane žene gde je primenjen FRt na mišićima zadnje lože natkolenice dominantne noge u trajanju od tri serije po 30 sekundi nije doveo do promena u pEMG vrednostima (mišić *biceps femoris* i *rectus femoris*) u odnosu na kontrolnu grupu, a prilikom testiranja na izokinetičkom dinamometru (Madoni et al., 2018). Do sličnog zaključka došlo je istraživanje realizovano na uzorku od 34 rekreativno treniranih ispitanika koji su primenili FRt na mišićima zadnje lože natkolenice dominantne noge u trajanju od 10 serija po 30 sekundi (Ye, et al., 2019). Navedeno istraživanje imalo je za cilj da ispita ukršteni efekat uticaja tretmana na dominantnoj nozi na sposobnosti noge koja nije podvrgnuta tretmanu. Rezultati analize pEMG vrednosti (mišić *biceps femoris* i *semitendinosus*) prilikom testiranja mišićne jačine (MVIC) pokazali su da nije došlo do promene izmerenih pEMG vrednosti.

Uticaj FRt u trajanju od četiri serije po 45 sekundi na promene u pEMG vrednostima (mišić *vastus medialis*, *vastus lateralis* i *biceps femoris*) ispitivan je na uzorku od deset muškaraca i osam žena (Cavanaugh, Aboodarda, Hodgson, & Behm, 2017). Eksperimentalni protokol je obuhvatao četiri sesije prilikom kojih su ispitanici primenili FRt na mišićima zadnje lože natkolenice, prednje lože natkolenice, zadnje i prednje lože natkolenice i bez tretmana tokom kontrolne sesije. Analiza izmerenih pEMG vrednosti pre i nakon tretmana, a tokom aktivnosti koja se sastojala od tri uspešna pokušaja (sunožni skok preko prepone i doskok na jednu nogu sa zadržkom od dve sekunde na tenziometrijskoj platformi) pokazala je značajno smanjenje pEMG vrednosti kod mišića *biceps femoris* tokom protokola u kome je tretman bio usmeren na mišiće prednje lože natkolenice. Moguće objašnjenje za ovaj nalaz autori navode u potencijalnom mehanizmu da je promenjena aktivnost mišića antagonista posledica recipročne inhibicije zbog povećane tolerancije bola mišića agonista i sugerišu da treba izbegavati primenu tretmana isključivo na mišićima prednje lože natkolenice jer smanjena aktivnost mišića zadnje lože natkolenice nosi rizik od povrede zgloba kolena. Istraživanje na uzorku od 29 ispitanika (15 muškaraca i 14 žena) poredilo je efekte FR tretmana upotrebom roler masažera od strane istraživača u trajanju od tri serije po jedan minut na mišićima potkolenice (*gastrocnemius*) u odnosu na pol. Varijable od interesa su bile amplituda pokreta pri dorzalnoj fleksiji, obrtni momenat pri pasivnoj dorzalnoj fleksiji, prag bola, vrednost H i M talasa. Rezultati su pokazali poboljšanja varijabli od interesa nezavisno od pola (Nakamura et al., 2021).

Često u praksi određene inovacije stižu do krajnjih korisnika bez jasnih dokaza o opravdanosti upotrebe istih. Takav je slučaj sa FR sa vibracijom (Slika 3). Kombinacija dve vrste tretmana i istovremena primena pravi na određeni način nejasnoće u odnosu na benefit i štetnost efekta primene

istog. One zahtevaju oprez od strane korisnika tog novog tretmana, odnosno samomasaže i vibracije jer je bezbedna upotreba sa određenim ciljem potpuna nepoznanica.



Slika 3. Vibracioni Foam Roler (<https://www.therabody.com/us/en-us/wave-roller-us.html>)

U poslednje dve decenije, upotreba vibracione tehnologije za celo telo kao fizičke vežbe ili terapije postala je obećavajući pristup za poboljšanje mišićne jačine i snage donjih ekstremiteta (Chuang et al., 2021). Novije istraživanje (Mohd Mukhtar Alam, Abid Ali Khan, & Farooq, 2021) došlo je u zaključku do pozitivnih efekata na poboljšanje neuromišićnih sposobnosti gornjih ekstremiteta prilikom upotrebe vibracije od 35 Hz na podlakticama, a poboljšana je maksimalna voljna mišićna jačina stiska šake i izdržljivost. Lokalna vibracija u funkciji zagrevanja, frekventnog opsega od 0 Hz do 170 Hz i amplitude do 0.12 mm u trajanju od 15 minuta na mišićima ekstenzora natkolenice leve i desne noge nije dovela do značajnih promena u sposobnostima kako pri izometrijskom tako i pri dinamičkom testiranju (Souron et al., 2019). Primena dvofrekventne vibracije stajanjem na vibracionoj platformi u trajanju od četiri minuta poboljšala je sposobnost vertikalnog skoka i promene pravca kod ragbi igrača te se stoga može koristiti kao potencijalni protokol za zagrevanje sportista (Yang, Chou, Chen, Shiang, & Liu, 2017). Mišićna jačina plantarnih fleksora pri izometrijskom testiranju se smanjila odmah nakon primene tretmana vibracije od 45 Hz i amplitude 2 mm u trajanju od 60 sekundi (Harwood et al., 2017). Akutni efekti vibracije na voljnu aktivaciju mišića plantarnih fleksora ispitivani su na uzorku zdravih mladih ispitanika, trajanja pet serija po jedan minut rastezanja pri frekvenciji vibracije od 26 Hz i amplitudi od 4 mm do 4,5 mm, i doveli su do poboljšanja mišićne jačine plantarnih fleksora pri testiranju na izokinetičkom dinamometru (Pellegrini, Lythgo, Morgan, & Galea, 2010).

Utvrđeno je da tokom izvođenja maksimalne voljne kontrakcije frekvencija ekscitacije motornih jedinica je blizu 30 Hz (Silva et al., 2006). Vibracioni trening može izazvati poboljšanja u mišićnoj jačini i snazi ali treba uzeti u obzir inhibitorni efekat vibracije na regrutaciju motornih jedinica, takođe, optimalni frekventni opseg od 30 Hz do 50 Hz najefikasnije može aktivirati mišić, posebno vibracioni trening može izazvati veća poboljšanja mišićne jačine i snage pre kod elitnih sportista nego sportista nižeg nivoa (Luo, McNamara, & Moran, 2005). Vibraciona stimulacija u trajanju od četiri minuta, niže frekvencije od 15 Hz do 30 Hz a više amplitude 10 mm može privremeno poboljšati mišićnu jačinu mišića ekstenzora zglobova kolena u izometrijskim uslovima (Torvinen et al., 2002; Torvinen et al., 2002).

Mogućnost raznovrsnog delovanja FRt i vibracionog tretmana otvara priliku za komplementarno dejstvo posredstvom inovativnog vibracionog FR (VFR). Mali broj aktuelnih istraživanja novog kombinovanog tretmana nameće potrebu za daljim istraživanjem u cilju

formulisanja jasnih smernica za optimalan protokol primene. Imajući u vidu različite populacije koje su korisnici ovog novog tretmana upravo taj nedostatak istraživanja pravi konfuziju kod stručnjaka za fizičku aktivnost različitih profila čiji primarni cilj treba da bude bezbedno poboljšanje fizičkih i takmičarskih sposobnosti. Kada, koliko i da li treba koristiti novi tretman ostaje da se utvrdi u budućim istraživanjima.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Kombinovani tretman (Vibracioni Foam Roler - VFR) u trajanju od tri serije po 20 sekundi, frekvencije 49 Hz i amplitude 1,95 mm na mišićima dorzalnim fleksorima skočnog zgloba proizveo je ukršteni efekat (kod noge koja nije podvrgnuta tretmanu) na uzorku od 38 ispitanika. Takođe, poboljšana je i amplituda pokreta u skočnom zglobu pri dorzalnoj fleksiji, međutim, taj efekat nije značajno bio veći u odnosu na efekat FRT bez vibracije (García-Gutiérrez, Guillén-Rogel, Cochrane, & Marín, 2018).

Tretman VFR u funkciji pripreme, odnosno zagrevanja pri frekvenciji 28 Hz u trajanju od tri serije po 30 sekundi na mišićima fleksorima i ekstenzorima natkolenice obe noge značajno je poboljšao amplitudu pokreta, ravnotežu i mišićnu jačinu pri testiranju na izokinetičkom dinamometru (Lee, Chu, Lyu, Chang, & Chang, 2018). U istraživanju koje je poredilo efekte VFR tretmana trajanja dva minuta pri frekvenciji 33 Hz i FRt došlo se do rezultata da je novi tretman, vibracioni FRt doveo do značajnih poboljšanja amplitude pokreta u zglobu kolena i povećanja praga bola u odnosu na klasičan FRt. Međutim, kako je reč o novom tretmanu kliničari treba da budu oprezni i potrebna su dalja istraživanja radi smanjivanja jaza između kliničke prakse i istraživanja (Cheatham, Stull, & Kolber, 2019).

Pri poređenju efekata VFR tretmana frekvencije 32 Hz u trajanju od 60 sekundi po mišiću i FRt istog trajanja na istim mišićima, rectus femoris, vastus medialis i vastus lateralis došlo se do zaključka da je mišićna jačina (MVIC) povećana nakon oba tretmana ali da je amplituda pokreta, pri ekstenziji u zglobu kuka povećana samo nakon tretmana VFR tako da ovaj pristup može biti koristan za sportove koji zahtevaju fleksibilnost (Reiner et al., 2021).

VFR tretman pri frekvenciji od 48 Hz u trajanju od tri serije po 60 sekundi na mišićima plantarnim fleksorima na uzorku od 15 zdravih netreniranih muških ispitanika izazvao je poboljšanje amplitude pokreta bez smanjenja mišićne jačine i visine skoka (Nakamura, Sato, Kiyono, Yoshida, Murakami, et al., 2021). Efikasno menjanje pasivnih karakteristika mišića plantarnih fleksora bez smanjivanja mišićne jačine i drugih sposobnosti moguće je primenom VFR tretmana pri frekvenciji od 48 Hz u trajanju od tri serije po 60 sekundi (Nakamura, Sato, Kiyono, Yoshida, Yasaka, et al., 2021). Interesantan je nalaz istraživanja primene VFR tretmana na uzorku elitinih tekvondo takmičara (Chen et al., 2021). U navedenom istraživanju kombinovano je opšte zagrevanje i VFR tretman u trajanju od 3 i 6 serija po 30 sekundi pri frekvenciji vibracije od 48 Hz na mišićima prednje i zadnje strane natkolenice obe noge. Kombinacija opšteg zagrevanja i VFR tretmana dovela je do poboljšanja pri heksagon testu, a kod slabije noge povećan je broj udaraca i otpornost na zamor. Zaključak istraživanja sugeriše da ovakva primena može poboljšati tekvondo performanse udaraca nogom i smanjiti rizik od povrede donjih ekstremiteta.

Sistematski pregled i meta-analiza najnovijeg datuma sugeriše da tretman VFR poseduje značajan potencijal za poboljšanje sposobnosti skoka, agilnosti, jačine i ubrzanje oporavka, ali da su potrebna buduća istraživanja za potvrđivanje efekata ovakvog tretmana na sposobnosti i oporavak (Alonso-Calvete et al., 2022).

3. PILOT ISTRAŽIVANJE

Rezultati pilot istraživanja u vezi sa ovom temom objavljeni su u sledećem radovima (Borisavljević, Ćosić, & Janković, 2021; Borisavljević, Ćosić, Janković, & Dopsaj, 2021):

1.

Acute effects of 15-second self-administered vibration massage on plantar extensors' muscle strength properties in adult males: a pilot study

Pilot studija Borisavljević i sar., iz (2021) ispitivala je na uzorku od 23 zdrava fizički aktivna muška ispitanika uticaj vibracione samomasaže na mišićnu jačinu pri frekvenciji od 29 Hz u trajanju od 15 sekundi na mišićima plantarnim ekstenzorima obe noge. Maksimalna mišićna jačina (F_{max}) pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji je ostala nepromenjena nakon tretmana. Vreme potrebno za dostizanje F_{max} vrednosti (tF_{max}) se statistički značajno promenilo, varijabla tF_{max} se povećala nakon tretmana, međutim, ostaje nejasno da li je uticaj tretmana ili zamora doveo do ove pojave, Tabela 1.

Tabela 1. Poređenje inicijalnog testiranja i testiranja nakon tretmana varijable tF_{max}

Wilks' lambda Value = 0.482, F = 7.151, p = 0.002, Partial Eta ² = 0.518, Observed Power = 0.954					
MEASURE_ tMVIC (tF_{max})		Pairwise Comparisons			
(I) factor1	(J) factor1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	p value	
$tF_{max_Pre_Treatment_Test}$	$tF_{max_Post_Treatment_Test_1}$	0.063	0.062	0.321	
	$tF_{max_Post_Treatment_Test_2}$	-0.161*	0.050	0.004	
	$tF_{max_Post_Treatment_Test_3}$	-0.106	0.076	0.175	
$tF_{max_Post_Treatment_Test_1}$	$tF_{max_Post_Treatment_Test_2}$	-0.224*	0.054	0.000	
	$tF_{max_Post_Treatment_Test_3}$	-0.169	0.085	0.061	
$tF_{max_Post_Treatment_Test_2}$	$tF_{max_Post_Treatment_Test_3}$	0.055	0.082	0.507	

Based on estimated marginal means.
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

2.

How does vibration foam rolling massage affect plantar extensors muscle explosive strength properties? Pilot study

Pilot studija Borisavljević i sar., iz (2021) ispitivala je na uzorku od 23 muška ispitanika uticaj vibracione samomasaže (29 Hz) na eksplozivnu mišićnu jačinu u trajanju od 15 sekundi na mišićima plantarnim ekstenzorima obe noge. Brzina razvoja maksimalne eksplozivne mišićne jačina (RFD_{max}) i vreme brzine razvoja maksimalne eksplozivne mišićne jačine ($tRFD_{max}$) su bile zavisne varijable od interesa. Uticaj vibracione samomasaže imao je negativan uticaj na zavisne varijable RFD_{max} i $tRFD_{max}$, Figura 1 i 2.

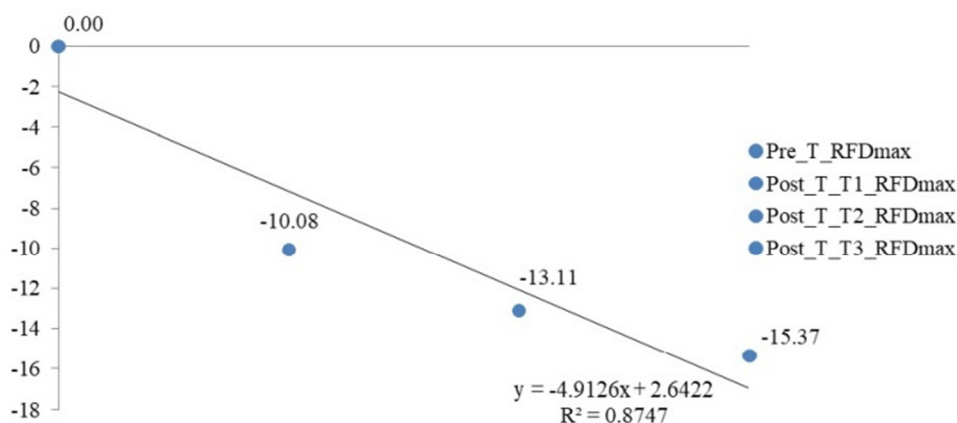


Figure 1. RFD_{max} between tests mean value trend line differences (in %)

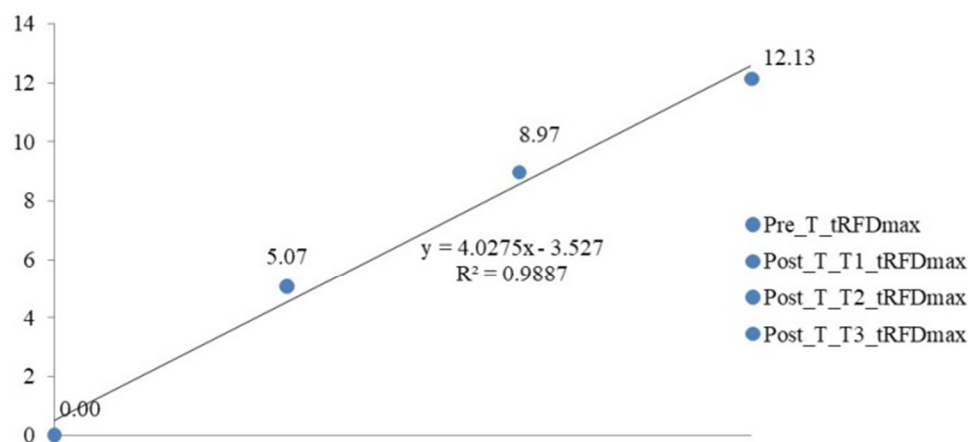


Figure 2. tRFD_{max} between tests mean value trend line differences (in %)

3.

Acute effects of vibration foam rolling on the explosive strength properties of the plantarflexors during maximal isometric contraction

Istraživanje (Borisavljević, Kukić, Janković, Ćosić, & Dopsaj, 2023) na uzorku od 20 ispitanika muškog pola ispitalo je akutne efekte VFR tretmana različite dužine trajanja, 15 i 60 sekundi na mišićima plantarnim fleksorima obe noge pri frekvenciji od 29 Hz na maksimalnu voljnu (F_{max}) i maksimalnu eksplozivnu mišićnu jačinu (RFD_{max}) pri izometrijskoj kontrakciji. Zaključak istraživanja je da mišićne kontraktilne karakteristike ne mogu biti poboljšane primenom ovakvog tretmana.

4. PROBLEM, PREDMET I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja

Imajući u vidu mali broj dosadašnjih istraživanja konkretnog kombinovanog (vibracija i FR) tretmana i kontradiktorne rezultate prethodnih istraživanja koja su se bavila klasičnim tretmanom (FR) potrebno je dalje ispitivanje opravdanosti upotrebe sa ciljem uticaja na određene fizičke sposobnosti. Uvidom u literaturu utvrđeno je da inovativan kombinovan tretman poseduje značajan potencijal sa jedne strane, koji može opravdati njegovu primenu u praksi kod različitih populacija, dok je sa druge strane uticaj tog tretmana velika nepoznanica kako u pogledu potrebne dužine tretmana tako i u veličini efekata koje proizvodi na određenim fizičkim sposobnostima.

Predmet istraživanja

Osnovni predmet ovog istraživanja je ispitivanje uticaja kombinovanog tretmana različite dužine trajanja na ispoljavanje osnovnih karakteristika mišićne jačine. Takođe, sekundarni predmet istraživanja je uticaj kombinovanog tretmana VFR na promenu temperature mišića i promenu električne aktivnosti mišića kao neuralne komponente mehanizma ostvarivanja mišićne jačine.

Ciljevi i zadaci istraživanja

U skladu sa identifikovanim problemom i postavljenim predmetom istraživanja definisani su sledeći ciljevi istraživanja:

1. Pregled i identifikacija kinetičkih varijabli od značaja za analizu i interpretaciju uticaja vibracione samomasaže na ispoljavanje mišićne jačine;
2. Ispitivanje uticaja različite dužine trajanja vibracione samomasaže na produkciju maksimalne jačine (sile) mišića plantarnih fleksora pri voljnoj izometrijskoj kontrakciji;
3. Ispitivanje uticaja različite dužine trajanja vibracione samomasaže na vreme potrebno za ispoljavanje maksimalne jačine (sile) mišića plantarnih fleksora pri voljnoj izometrijskoj kontrakciji;
4. Ispitivanje uticaja različite dužine trajanja vibracione samomasaže na maksimalnu brzinu razvoja jačine (sile) mišića plantarnih fleksora pri voljnoj izometrijskoj kontrakciji;
5. Ispitivanje uticaja različite dužine trajanja vibracione samomasaže na vreme potrebno za realizaciju maksimalne brzine razvoja jačine (sile) mišića plantarnih fleksora pri voljnoj izometrijskoj kontrakciji;
6. Evaluacija uticaja vibracione samomasaže na promenu temperature mišića plantarnih fleksora pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji;

7. Evaluacija uticaja vibracione samomasaže na promenu električne aktivnosti (elektromiografske) mišića plantarnih fleksora pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji.

Zadaci istraživanja postavljeni su u skladu sa ciljevima istraživanja i realizovani su kroz:

1. Obezbeđivanje potrebne dokumentacije za pripremu sprovođenja istraživanja (odobrenje etičke komisije, odobrenje prodekana za korišćenje fakultetske opreme neophodne za istraživanje, pisano obaveštenje i saglasnost za ispitanike u istraživanju, protokol istraživanja) ;
2. Obezbeđivanje potrebnog uzorka ispitanika za istraživanje;
3. Procena nivoa fizičke aktivnosti i zdravstvenog statusa ispitanika na osnovu upitnika;
4. Upoznavanje ispitanika sa protokolom istraživanja, pisanim, usmenim putem i kroz demonstraciju;
5. Merenje antropometrijskih karateristika i telesne kompozicije ispitanika;
6. Upoznavanje ispitanika sa pravilnom tehnikom izvođenja testiranja putem probnih pokušaja;
7. Testiranje ispitanika;
8. Obrada prikupljenih podataka putem statističkih analiza;
9. Tumačenje dobijenih rezultata istraživanja.

5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Pregledom literature identifikovan je problem, postavljen predmet i ciljevi istraživanja, a u skladu sa prethodno navedenim definisana je sledeća generalna i pomoćne hipoteze:

Generalna hipoteza -

H₀: Vibraciona samomasaža neće imati uticaja na ispoljavanje različitih voljnih karakteristika mišićne jačine.

Pomoćne hipoteze -

Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana:

H₁: Povećati vrednosti maksimalne voljne izometrijske mišićne jačine;

H₂: Povećati sposobnost mišića za ispoljavanjem eksplozivne mišićne jačine;

H₃: Povećati mišićnu temperaturu;

H₄: Povećati električnu aktivnost mišića;

H₅: Smanjiti vreme dostizanja maksimalne voljne izometrijske mišićne jačine;

H₆: Smanjiti vreme dostizanja maksimalne brzine razvoja eksplozivne mišićne jačine.

6. METODE ISTRAŽIVANJA

Sprovedeno istraživanje prema prirodi i pristupu naučnih istraživanja je kvantitativno empirijsko dok prema cilju preduzimanja ili stepenu primjenjivosti spada u primenjena istraživanja. U odnosu na problem istraživanja je konfirmativno istraživanje. Sa aspekta vremenskog trajanja istraživanje je transverzalno, a prema stepenu kontrole spada u laboratorijsko istraživanje. Po prirodi definisanog problema istraživanja je interdisciplinarno, a po osnovu naučne spoznaje je usmereno na utvrđivanje uzroka pojava (Ristanović & Dačić, 2005).

Uzorak ispitanika

Testiranjem je obuhvaćeno 23 ispitanika muškog pola, starosti 15 do 31 godine. U skladu sa Helsinškom deklaracijom pre početka testiranja ispitanici su upoznati sa svrhom i protokolom istraživanja i predočene su sve potencijalne beneficije kao i rizici od učešća u istraživanju. Nakon detaljnog upoznavanja sa ciljevima i procedurama istraživanja, ispitanici su potpisali saglasnost za dobrovoljno učešće u istraživanju. Osnovni kriterijumi za učešće u istraživanju bili su:

1. da je ispitanik zdrav;
2. bez povreda;
3. da je upoznat sa upotrebom FR u svojoj trenažnoj rutini;
4. minimum 3 treninga snage nedeljno sa dodatnim opterećenjem u poslednjih 6 meseci.

Istraživanje je deo projekta „Efekti primenjene fizičke aktivnosti na lokomotorni, metabolički, psihosocijalni i obrazovni status populacije Republike Srbije”, broj III47015, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije – naučni projekti u ciklusu 2011-2021.

Dizajn istraživanja

U istraživanju je korišćen eksperimentalni dizajn. Eksperimentalno testiranje je sprovedeno kroz 4 sesije sa ciljem da se ispituju akutni efekti primene VFR tretmana različite dužine trajanja na određene karakteristike mišića zadnje strane potkolenice. Vremenski razmak u cilju adekvatnog oporavka ispitanika bio je minimum 72 časa između sesija. Ispitanici su testirani približno u isto doba dana, a temperatura u laboratoriji je kontrolisana klima uređajima. Metodom nasumičnog odabira svim ispitanicima je dodeljen jedan od četiri eksperimentalna tretmana tokom svake sesije. U kontrolnoj sesiji ispitanici nisu imali tretman. Ispitanicima je samo na prvoj sesiji pored merenja visine (antropometar) i mase tela bila procenjena i telesna kompozicija pomoću testa višekanalne bioimpedance (InBody 720).

U svakoj sesiji ispitanici su u sedećem položaju, u skladu sa već usvojenom procedurom testiranja date mišićne grupe (Majstorović et al., 2020; Majstorović et al., 2021) izvodili ukupno 4 serije po tri maksimalna pokušaja. Svaki pokušaj se sastojao od maksimalne voljne izometrijske kontrakcije mišića zadnje strane potkolenice na znak istraživača, što brže i što jače. Pre započinjanja prve serije (inicijalne) ispitanici su uradili dva do tri submaksimalna pokušaja u cilju familijarizacije sa

zadatkom, položajem tela prilikom izvođenja zadatka i adaptacije na opremu. Zavisne varijable od interesa za problem istraživanja su merene pre i nakon eksperimentalnog tretmana:

1. Maksimalna voljna mišićna jačina - sila (F_{max}), izražena u njutnima (N) ;
2. vreme maksimalne voljne mišićne jačine (tF_{max}), izražena u sekundama (s) ;
3. maksimalna brzina voljnog razvoja mišićne jačine (RFD_{max}), izražena u njutnima po sekundi (N/s) ;
4. vreme maksimalne brzine voljnog razvoja mišićne jačine ($tRFD_{max}$), izražena u sekundama (s) ;
5. površinska elektromiografska aktivnost mišića gastrocnemiusa medijalne glave obe noge (pEMG_l) i (pEMG_d) izražena u softveru kao izlazna vrednost RMS_{max} (eng. Root mean square) u mikrovoltima (μV), u analizi predstavljena kao maksimalna prosečna vrednost obe noge $pEMG_AVG_{max}$;
6. temperatura mišića gastrocnemiusa medijalne glave obe noge indirektnom metodom (T_m), izražena u stepenima celzijusa ($^{\circ}C$).

Za analizu korišćena je i izvedena varijabla, indeks sinergije SI (RFD_{max}/F_{max}).

Procedura testiranja

Za potrebe istraživanja korišćen je laboratorijski metod rada. Testiranje je sprovedeno u Metodološko-istraživačkoj laboratoriji Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, Univerziteta u Beogradu. Od instrumenata za potrebe testiranja tokom istraživanja korišćeni su:

1. InBody 720, za procenu telesne kompozicije aparat, South Korea;
2. EMG bežični sistem, Trigno, Delsys, Boston, MA, USA;
3. Infrared termometar, Microlife NC150, Microlife AG, Widnau, Switzerland;
4. Senzor sile, Hottinger, Type S9, Germany;
5. Komercijalni softver „Isometrics Sports Medical Solutions”, Belgrade, Serbia.

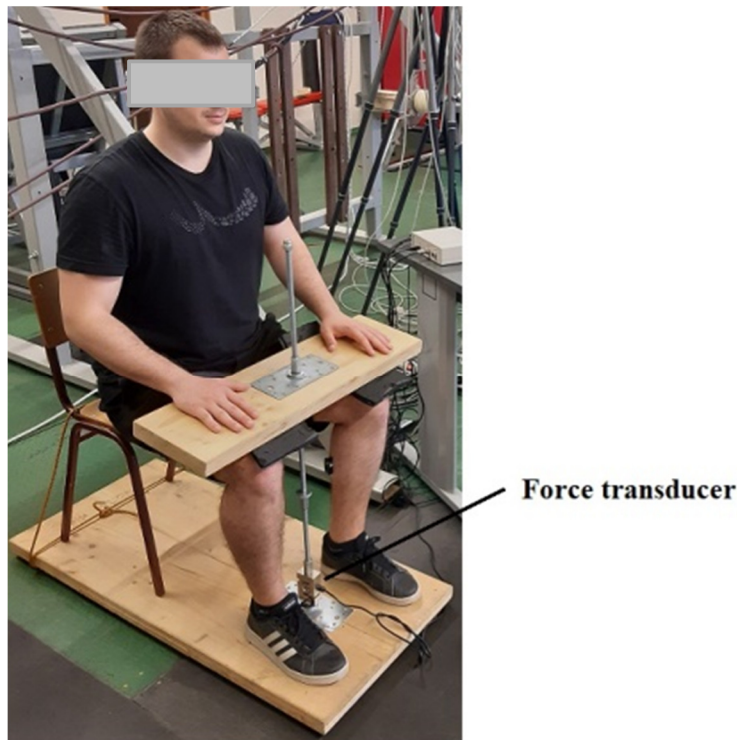
Svaka eksperimentalna sesija je započeta merenjem temperature mišića gastrocnemiusa medijalne glave obe noge na unapred markerom obeleženom mestu, a zatim opštim zagrevanjem na bicikl-ergometru u trajanju od 5 minuta, pri opterećenju od 70 W, a visina sedišta je prilagođena svakom ispitaniku posebno kako bi se postiglo puno opružanje noge u zglobu kolena. Nakon opšteg zagrevanja, usledilo je dinamičko rastezanje u trajanju od tri minuta nakon čega je usledilo specifično zagrevanje koje je podrazumevalo sledeće četiri vežbe, između kojih je bila pauza odmora od jednog minuta:

1. Seriju od 20 ponavljanja podizanja ispitanika na prste u stojećem stavu umerenom brzinom;
2. seriju od 10 skokoka iz polučučnja sa zamahom rukama umerenom brzinom;
3. seriju od 10 skokova velikom brzinom iz skočnog zgloba sa što manjom fleksijom u zglobu kolena;
4. seriju od 20 ponavljanja podizanja ispitanika na prste u stojećem stavu maksimalnom brzinom.

Po završetku zagrevanja odmah je ponovo izmerena temperatura na prethodno opisani način, ispitanici su imali pauzu u trajanju od tri minuta tokom koje su sa medijalne glave mišića gastrocnemiusa obe noge odstranjene dlake, a mesto očišćeno medicinskim alkoholom kako bi se osiguralo dobro naleganje i kontakt bežičnih senzora za pEMG sa kožom. Bežični senzori su

postavljeni na središnji deo mišića tako da su elektrode senzora orijentisane pod pravim uglom u odnosu na pravac pružanja mišićnih vlakana (Hermens, Freriks, Disselhorst-Klug, & Rau, 2000).

Ispitanik je postavljen na posebno dizajniranu konstrukciju u sedeći položaj na stolici, ugao u zglobu kolena i između trupa i natkolenice je bio 90 stepeni. U odnosu na različite telesne visine ispitanika visina sedalnog dela je podešavana kako bi procedura testiranja bila standardizovana. Između potkolenica ispitanika nalazila se navojna šipka na čijem donjem kraju je senzor sile, a na gornjem kraju ploča čijim se zatezanjem, a koja se oslanja na distalne krajeve natkolenice, obezbeđuju izometrijski uslovi testiranja, Fotografija 1. Sila kojom je ploča bila zategnuta kontrolisana je pomoću softvera koji u realnom vremenu prikazuje vrednosti. Ispitanik je uradio dva do tri submaksimalna pokušaja u cilju familijarizacije na verbalnu instrukciju „Sad” od strane ispitivača, sa pauzom od dva minuta između pokušaja. Nakon probnih pokušaja usledila je inicijalna serija od tri maksimalna pokušaja gde na verbalnu instrukciju ispitanik treba najjače i najbrže što može da izvede zadatak (plantarna fleksija-podizanje na prste) i da zadrži datu kontrakciju najmanje 2 sekunde. Po završetku inicijalne serije su skinuti pEMG bežični senzori, a ispitanici su imali 15 minuta pauzu. Po isteku pauze ispitanici su podvrgnuti VFR tretmanu u trajanju od 15, 30 i 60 sekundi pri frekvenciji od 29 Hz. Koristeći težinu svog tela uz oslonac rukama tretirali su mišiće zadnje strane potkolenice, rolanjem preko VFR, svaku potkolenicu posebno, dok je druga noga bila ukrštena preko noge koja se rola. Metronomom je kontrolisana brzina rolanja, dva rolanja po sekundi (od proksimalnog do distalnog kraja i nazad). Odmah po završetku tretmana na unapred obeležno mesto su vraćeni pEMG bežični senzori, a zatim su ispitanici na isti način uradili još tri serije po tri maksimalna pokušaja u seriji takođe sa dva minuta pauze između pokušaja. Pauza između serija je bila pet minuta kako bi se što više otklonili potencijalni efekti zamora. Na kraju svake serije ispitanicima je merena temperatura na prethodno opisani način. U toku trajanja pauze od pet minuta između serija ispitanicima je bilo dozvoljeno da ustanu i šetaju.



Fotografija 1. Ispitanik pri testiranju u laboratoriji

7. METOD OBRADJE PODATAKA

U istraživanju je korišćen eksperimentalni dizajn na istoj grupi ispitanika tokom četiri eksperimentalne sesije. Rezultati deskriptivne statističke analize predstavljeni su srednjom vrednošću, standardnom devijacijom, minimalnom i maksimalnom vrednošću i koeficijentom varijacije. Pouzdanost merenja zavisnih varijabli između različitih eksperimentalnih sesija procenjena je na osnovu intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC) sa intervalom poverenja od 95% i standardne greške merenja (SEM). Univarijantna analiza varijanse za ponovljena merenja (ANOVA repeated measurement) sa Bonferoni korekcijom je korišćena za utvrđivanje potencijalnih razlika zavisnih varijabli između eksperimentalnih sesija. Statističke analize rađene su u softverskom paketu SPSS (IBM SPSS version 20.0, Chicago, IL, USA). Nivo statistički značajne razlike je bio podešen za verovatnoću od 95% i vrednost $p \leq 0.05$ (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1998). Za dobijene ICC vrednosti izabrana su podešavanja absolute-agreement i 2-way mixed-effects model u softverskom paketu SPSS.

8. REZULTATI

U eksperimentu su učestvovala zdrava 23 muška rekreativno trenirana ispitanika. Tokom trajanja eksperimenta trojica ispitanika su odustala i u konačnoj analizi prikazani su rezultati 20 ispitanika. Tokom prve eksperimentalne sesije ispitanicima su izmerene antropometrijske karakteristike i izvršena je procena telesne kompozicije. Rezultati deskriptivne statistike antropometrijskih karakteristika i telesne kompozicije prikazani su u Tabeli 1, a od rezultata prikazani su prosečna vrednost (Mean), standardna devijacija (SD), vrednosti minimalnog (Min) i maksimalnog (Max) rezultata kao i koeficijent varijacije (cV%). U tabeli se može videti da najveću varijabilnost sa aspekta narušene homogenosti rezultata ima jedino varijabla PBF (procenat masnog tkiva).

Tabela 1. Rezultati deskriptivne statistike karakteristika ispitanika.

	TV (cm)	TM (kg)	BMI (kg/m ²)	PBF (%)	SMM (kg)	PSMM (%)	UZRAST (god)
MEAN	185.1	81.1	23.7	12.6	40.5	50.0	25.5
SD	6.4	8.3	2.3	5.8	4.2	3.4	4.7
cV%	3.5	10.2	9.7	45.5	10.3	6.7	18.6
Min	171.0	63.6	20.3	5.6	34.0	41.9	18.0
Max	197.0	94.7	29.2	27.2	47.6	54.6	31.7

TV-telesna visina, TM-telesna masa, BMI- indeks telesne mase, PBF-procenat masnog tkiva, SMM- skeletni mišići, PSMM-procenat skeletnih mišića.

8.1. Rezultati karakteristika maksimalne mišićne jačine

Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable maksimalne mišićne jačine pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji (F_{max}) izraženo u njutnima (N) prikazani su u Tabeli 2. Rezultati su prikazani na nivou svakog tretmana (Trt) i između tretmana. Prikazane su prosečna vrednost (Mean), vrednost standardne devijacije (SD), vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (p). Prikazana statistički značajna razlika je prisutna nakon (Nkn) tretmana, odnosno između tretmana u testu 3, a detaljan prikaz značajnosti razlika sledi u tabeli 4. Intraklasni koeficijent korelacije (eng. ICC) na nivou između tretmana inicijalnog testa iznosi 0.896 (u intervalu od 0.80 do 0.95), a vrednost parcijalnog eta kvadrata 0.283.

Tabela 2. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable F_{max} (N).

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	p
	15s	30s	60s	Kontrolni		
Inicijalno (Inc_T)	$F_{max_Inc_T}$	$F_{max_Inc_T}$	$F_{max_Inc_T}$	$F_{max_Inc_T}$		
Mean ± SD	3495 ± 423	3589 ± 498	3600 ± 633	3734 ± 555	0.72	0.12
Test 1 (T_1)	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$		
	3420 ± 454	3536 ± 449	3528 ± 579	3680 ± 631	0.69	0.12
Test 2 (T_2)	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$		
	3453 ± 437	3516 ± 476	3512 ± 554	3669 ± 617	0.72	0.13
Test 3 (T_3)	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$	$F_{max_Nkn_Trt}$		
	3438 ± 410	3550 ± 558	3517 ± 595	3710 ± 603	0.56	0.018*
Wilks' Lambda	0.91	0.90	0.88	0.89		
p	0.65	0.63	0.54	0.56		

U Tabeli 3 statistički značajna razlika je prisutna na nivou između tretmana od 15 sekundi i kontrolnog tretmana u testu 3.

Tabela 3. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable F_{\max} (N) između tretmana u testu 3.

Pairwise Comparisons						
F_{\max} (N)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
	$F_{\max_Nkn_Trt_30s_T_3}$	-112.1	91.6	1.00	-382.0	157.8
$F_{\max_Nkn_Trt_15s_T_3}$	$F_{\max_Nkn_Trt_60s_T_3}$	-79.5	87.8	1.00	-338.1	179.0
	$F_{\max_Nkn_Trt_Con_T_3}$	-272.8*	71.7	0.01*	-484.1	-61.5
$F_{\max_Nkn_Trt_30s_T_3}$	$F_{\max_Nkn_Trt_60s_T_3}$	32.5	82.1	1.00	-209.1	274.2
	$F_{\max_Nkn_Trt_Con_T_3}$	-160.7	92.8	0.60	-433.9	112.4
$F_{\max_Nkn_Trt_60s_T_3}$	$F_{\max_Nkn_Trt_Con_T_3}$	-193.3	89.8	0.27	-457.6	71.0

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable vreme maksimalne mišićne jačine pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji (tF_{\max}) izraženo u sekundama (s) prikazani su u Tabeli 4. Rezultati su prikazani na nivou svakog tretmana i između tretmana. Prikazane su prosečna vrednost (Mean), vrednost standardne devijacije (SD), vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (p). Intraklas koeficijent korelacije (eng. ICC) na nivou između tretmana inicijalnog testa iznosi 0.639 (u intervalu od 0.28 do 0.84), a vrednost parcijalnog eta kvadrata 0.060. Statistički značajne razlike prisutne su na nivou tretmana od 15 sekundi i 60 sekundi, detaljan prikaz tih razlika je prikazan u Tabeli 5 i 6.

Tabela 4. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable tF_{max} (s).

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	P
	15s	30s	60s	Kontrolni		
Inc_T	$tF_{max_Inc_T}$	$tF_{max_Inc_T}$	$tF_{max_Inc_T}$	$tF_{max_Inc_T}$		
Mean \pm SD	1.126 \pm 0.182	1.181 \pm 0.300	1.131 \pm 0.299	1.168 \pm 0.232	0.94	0.78
T_1	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$		
	1.026 \pm 0.306	1.210 \pm 0.313	1.090 \pm 0.300	1.159 \pm 0.281	0.69	0.10
T_2	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$		
	1.285 \pm 0.203	1.200 \pm 0.381	1.221 \pm 0.350	1.275 \pm 0.300	0.91	0.64
T_3	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$	$tF_{max_Nkn_Trt}$		
	1.272 \pm 0.352	1.300 \pm 0.314	1.219 \pm 0.286	1.246 \pm 0.307	0.91	0.65
Wilks' Lambda	0.42	0.79	0.58	0.66		
p	0.002*	0.25	0.024*	0.06		

U Tabeli 5 prikazane razlike prisutne su između testa 1 i testa 2.

Tabela 5. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable tF_{max} (s) tretmana 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
	tF_{max} (s)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
$tF_{max_Inc_T}$	$tF_{max_Nkn_Trt_T_1}$	0.099	0.066	0.908	-0.096	0.294
	$tF_{max_Nkn_Trt_T_2}$	-0.160	0.055	0.054	-0.322	0.002
	$tF_{max_Nkn_Trt_T_3}$	-0.147	0.083	0.563	-0.392	0.098
$tF_{max_Nkn_Trt_T_1}$	$tF_{max_Nkn_Trt_T_2}$	-0.259*	0.059	0.002*	-0.432	-0.085
	$tF_{max_Nkn_Trt_T_3}$	-0.246	0.085	0.057	-0.497	0.005
$tF_{max_Nkn_Trt_T_2}$	$tF_{max_Nkn_Trt_T_3}$	0.013	0.088	1.000	-0.246	0.272

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 6 detaljan prikaz razlika pokazuje da statistički značajnih razlika nema.

Tabela 6. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable tF_{\max} (s) tretmana 60 sekundi.

Pairwise Comparisons						
tF_{\max}		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
$tF_{\max_Inc_T}$	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_1}$	0.041	0.066	1.000	-0.152	0.234
	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_2}$	-0.090	0.069	1.000	-0.292	0.112
	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_3}$	-0.088	0.068	1.000	-0.287	0.111
$tF_{\max_Nkn_Trt_T_1}$	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_2}$	-0.131	0.046	0.061	-0.265	0.004
	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_3}$	-0.129	0.063	0.336	-0.316	0.058
$tF_{\max_Nkn_Trt_T_2}$	$tF_{\max_Nkn_Trt_T_3}$	0.002	0.077	1.000	-0.226	0.229

Based on estimated marginal means.
a. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

8.2. Rezultati karakteristika maksimalne eksplozivne mišićne jačine

Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable maksimalne eksplozivne mišićne jačine pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji (RFD_{\max}) izraženo u njutnima u sekundi (N/s) prikazani su u Tabeli 7. Rezultati su prikazani na nivou svakog tretmana i između tretmana. Prikazane su prosečna vrednost (Mean), vrednost standardne devijacije (SD), vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (p). Intraklasni koeficijent korelacije (eng. ICC) na nivou između tretmana inicijalnog testa iznosi 0.925 (u intervalu od 0.85 do 0.97), a vrednost parcijalnog eta kvadrata 0.338. Značajne razlike između tretmana prisutne su u testu 3. Na nivou pojedinačnih tretmana značajne razlike su prisutne kod tretmana od 15 sekundi, 30 sekundi i kontrolnog tretmana. Detaljan prikaz značajnih razlika prikazan je u Tabelama 8, 9, 10 i 11.

Tabela 7. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable RFD_{max} (N/s).

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	p
	15s	30s	60s	Kontrolni		
Inc_T	RFD _{max} _Inc_T	RFD _{max} _Inc_T	RFD _{max} _Inc_T	RFD _{max} _Inc_T		
Mean ± SD	16683.95 ± 2910	15846.85 ± 3338	15113.15 ± 3419	16319.65 ± 3023	0.66	0.07
T_1	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt		
	14827 ± 2599	15528.55 ± 3114	15095.45 ± 3073	15969.55 ± 2946	0.66	0.06
T_2	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt		
	14477.8 ± 2626	14831.05 ± 3091	14815.1 ± 2903	15532.8 ± 2929	0.76	0.20
T_3	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt	RFD _{max} _Nkn_Trt		
	14188.35 ± 2565	14718.85 ± 3533	14363.8 ± 2897	15577.65 ± 2865	0.55	0.01*
Wilks' Lambda	0.36	0.47	0.67	0.63		
p	0.001*	0.004*	0.07	0.04*		

U Tabeli 8 na nivou između tretmana značajna razlika je prisutna u testu 3 između tretmana od 15 sekundi i kontrolnog tretmana, takođe između tretmana od 60 sekundi i kontrolnog tretmana.

Tabela 8. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable RFD_{max} (N/s) između tretmana u testu 3.

Pairwise Comparisons						
RFD_{max} (N/s)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_15s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_30s}$	-530.5	402.5	1.000	-1715.6	654.6
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_60s}$	-175.4	344.0	1.000	-1188.2	837.3
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_Con}$	-1389.3*	391.4	0.013*	-2541.7	-236.8
$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_30s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_60s}$	355.0	444.1	1.000	-952.3	1662.4
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_Con}$	-858.8	452.9	0.440	-2192.2	474.6
$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_60s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_Con}$	-1213.8*	350.8	0.016*	-2246.6	-181.0

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 9 na nivou tretmana od 15 sekundi značajna razlika je prisutna između inicijalnog testa i sva tri testa nakon tretmana.

Tabela 9. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable RFD_{max} (N/s) tretmana 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
RFD_{max}		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
$RFD_{max_Inc_T_15s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_1_15s}$	1856*	364.5	0.000*	782.8	2929.1
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_2_15s}$	2206.1*	476.4	0.001*	803.4	3608.8
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_15s}$	2495.6*	465.8	0.000*	1124.2	3866.9
$RFD_{max_Nkn_Trt_T_1_15s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_2_15s}$	350.1	246.1	1.000	-374.4	1074.7
	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_15s}$	639.6	292.2	0.248	-220.7	1499.9
$RFD_{max_Nkn_Trt_T_2_15s}$	$RFD_{max_Nkn_Trt_T_3_15s}$	289.4	216.8	1.000	-349.0	927.9

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 10 na nivou tretmana od 30 sekundi značajna razlika je prisutna između inicijalnog testa i drugog i trećeg testa nakon tretmana kao i između testa 1 i testa 2 i testa 3.

Tabela 10. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable RFD_{max} (N/s) tretmana 30 sekundi.

Pairwise Comparisons						
RFD _{max}		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
RFD _{max} _Inc_T_30s	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_1_30s	318.3	290.5	1.000	-537.1	1173.7
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_30s	1015.8*	340.2	0.046*	14.1	2017.4
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_30s	1128.0*	276.5	0.004*	313.9	1942.0
RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_1_30s	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_30s	697.5*	211.5	0.023*	74.7	1320.2
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_30s	809.7*	258.2	0.033*	49.3	1570.0
RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_30s	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_30s	112.2	244.2	1.000	-606.8	831.2

Based on estimated marginal means.
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

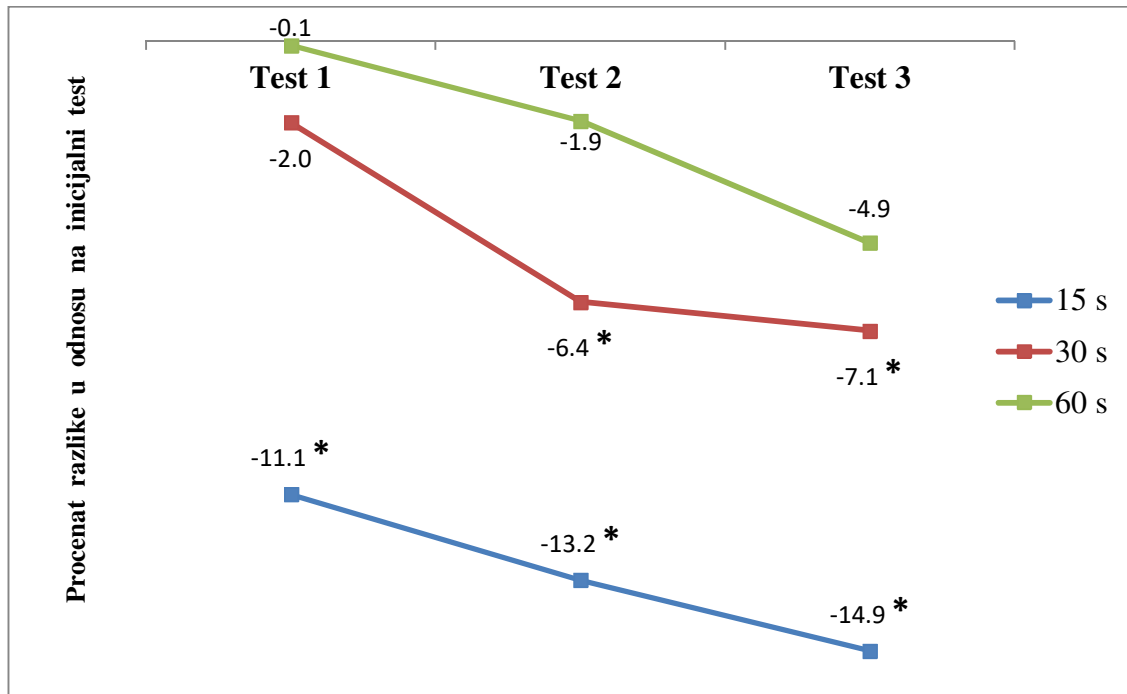
U Tabeli 11 na nivou kontrolnog tretmana značajna razlika nije prisutna, značajnost je na graničnoj vrednosti, između inicijalnog testa i drugog i trećeg testa nakon tretmana.

Tabela 11. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable RFD_{max} (N/s) kontrolnog tretmana.

Pairwise Comparisons						
RFD _{max}		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
RFD _{max} _Inc_T_Con	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_1_Con	350.1	201.1	0.587	-241.9	942.1
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_Con	786.8*	266.9	0.050	0.873	1572.8
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_Con	742.0	253.2	0.052	-3.681	1487.6
RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_1_Con	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_Con	436.7	288.9	0.882	-413.7	1287.2
	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_Con	391.9	277.2	1.000	-424.3	1208.1
RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_2_Con	RFD _{max} _Nkn_Trtr_T_3_Con	-44.8	219.3	1.000	-690.7	601.0

Based on estimated marginal means.
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Na Grafikonu 1 prikazane su relativne razlike u procentima između prosečnih vrednosti kod tri tretmana, a između testa 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje. Negativna tendencija je prisutna kod sva tri tretmana. Statistički značajna razlika (*) je prisutna kod tretmana od 15 s i 30 s.



Grafikon 1. Relativne razlike (u %) između prosečnih vrednosti RFD_{max} tri tretmana između testova 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje

Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable vreme maksimalne eksplozivne mišićne jačine pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji ($tRFD_{max}$) izraženo u sekundama (s) prikazani su u Tabeli 12. Rezultati su prikazani na nivou svakog tretmana i između tretmana. Prikazane su prosečna vrednost (Mean), vrednost standardne devijacije (SD), vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (P). Intraklasni koeficijent korelacije (eng. ICC) na nivou između tretmana inicijalnog testa iznosio je 0.822 (u intervalu od 0.5 do 0.92), a vrednost parcijalnog eta kvadrata je bila 0.539. Značajne razlike između tretmana prisutne su u inicijalnom testu. Na nivou pojedinačnih tretmana značajne razlike su prisutne kod tretmana od 15 sekundi, 30 sekundi i kontrolnog tretmana. Detaljan prikaz značajnih razlika prikazan je u Tabelama 13, 14, 15 i 16.

Tabela 12. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ (s).

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	p
	15s	30s	60s	Kontrolni		
Inc_T	$tRFD_{max_Inc_T}$	$tRFD_{max_Inc_T}$	$tRFD_{max_Inc_T}$	$tRFD_{max_Inc_T}$		
Mean ± SD	0.132 ± 0.010	0.138 ± 0.013	0.138 ± 0.014	0.131 ± 0.013	0.46	0.004*
T_1	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$		
	0.138 ± 0.010	0.136 ± 0.016	0.139 ± 0.017	0.136 ± 0.015	0.93	0.72
T_2	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$		
	0.142 ± 0.012	0.142 ± 0.013	0.139 ± 0.014	0.139 ± 0.021	0.87	0.49
T_3	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$	$tRFD_{max_Nkn_Trt}$		
	0.147 ± 0.022	0.144 ± 0.016	0.144 ± 0.023	0.146 ± 0.028	0.96	0.87
Wilks' Lambda	0.43	0.60	0.86	0.62		
p	0.002*	0.03*	0.45	0.04*		

U Tabeli 13 značajne razlike prikazane su između tretmana od 30 sekundi i kontrolnog tretmana i između tretmana od 60 sekundi i kontrolnog tretmana.

Tabela 13. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ (s) između tretmana u inicijalnom testu.

Pairwise Comparisons						
$tRFD_{max}$		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
$tRFD_{max_Inc_T_15s}$	$tRFD_{max_Inc_T_30s}$	-0.006	0.003	0.39	-0.015	0.003
	$tRFD_{max_Inc_T_60s}$	-0.006	0.003	0.29	-0.015	0.002
	$tRFD_{max_Inc_T_Con}$	0.001	0.003	1.00	-0.007	0.009
$tRFD_{max_Inc_T_30s}$	$tRFD_{max_Inc_T_60s}$	0.000	0.002	1.00	-0.007	0.007
	$tRFD_{max_Inc_T_Con}$	0.007*	0.002	0.02*	0.001	0.013
$tRFD_{max_Inc_T_60s}$	$tRFD_{max_Inc_T_Con}$	0.007*	0.002	0.00*	0.002	0.012

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 14 značajne razlike kod tretmana od 15 sekundi prikazane su između inicijalnog testa i testa 2 i testa 3.

Tabela 14. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ (s) tretmana 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
tRFD _{max} (s)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
tRFD _{max} _Inc_T_15s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_1_15s	-0.01	0.00	0.08	-0.01	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_15s	-0.011*	0.00	0.00*	-0.02	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_15s	-0.016*	0.00	0.01*	-0.03	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_1_15s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_15s	0.00	0.00	0.30	-0.01	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_15s	-0.01	0.00	0.37	-0.02	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_15s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_15s	0.00	0.00	1.00	-0.01	0.01

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 15 značajne razlike kod tretmana od 30 sekundi su prikazane između inicijalnog testa i testa 3.

Tabela 15. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ (s) tretmana 30 sekundi.

Pairwise Comparisons						
tRFD _{max} (s)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
tRFD _{max} _Inc_T_30s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_1_30s	0.00	0.00	1.00	-0.01	0.01
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_30s	0.00	0.00	0.33	-0.01	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_30s	-.007*	0.00	0.03*	-0.01	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_1_30s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_30s	-0.01	0.00	0.29	-0.01	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_30s	-0.01	0.00	0.06	-0.02	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_2_30s	tRFD _{max} _Nkn_Tr_t_T_3_30s	0.00	0.00	1.00	-0.01	0.00

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Detaljan prikaz rezultata u Tabeli 16 analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ kod kontrolnog tretmana prikazuje da značajnih razlika nema.

Tabela 16. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable $tRFD_{max}$ (s) kontrolnog tretmana.

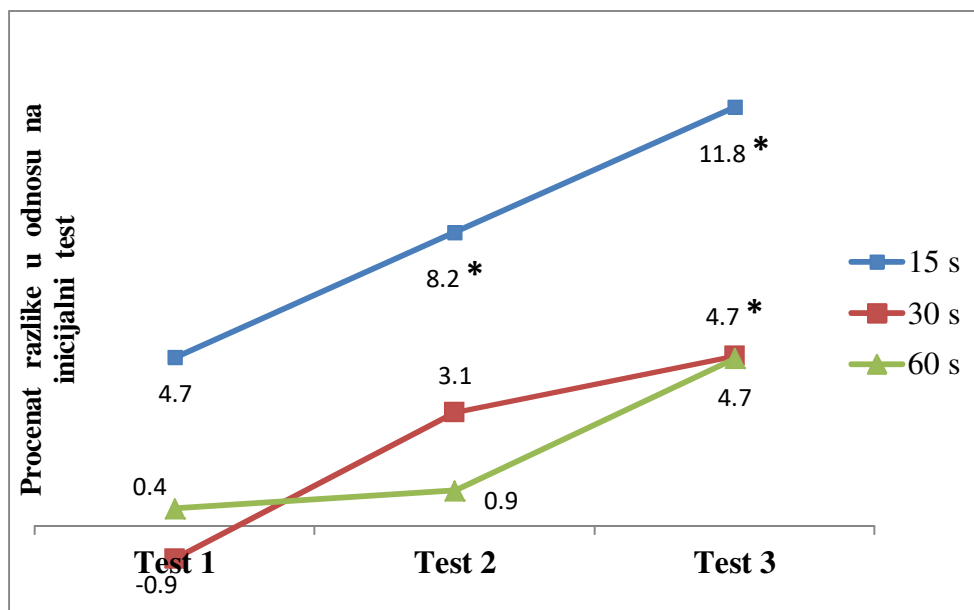
Pairwise Comparisons						
tRFD _{max}	tRFD _{max}	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
tRFD _{max} _Inc_T_Con	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_1_Con	0.00	0.00	0.39	-0.01	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_2_Con	-0.01	0.00	0.14	-0.02	0.00
	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_3_Con	-0.02	0.01	0.09	-0.03	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_1_Con	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_2_Con	0.00	0.00	1.00	-0.01	0.01
	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_3_Con	-0.01	0.01	0.33	-0.03	0.00
tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_2_Con	tRFD _{max} _Nkn_Trn_T_3_Con	-0.01	0.01	1.00	-0.03	0.01

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

a. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Grafikonu 2 prikazane su relativne razlike u procentima između prosečnih vrednosti kod tri tretmana, a između testa 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje. Negativna tendencija je prisutna kod sva tri tretmana, jer se vreme povećalo. Statistički značajna razlika (*) je prisutna kod tretmana od 15 s i 30 s.



Grafikon 2. Relativne razlike (u %) između prosečnih vrednosti $tRFD_{max}$ tri tretmana između testova 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje

U Tabeli 17 prikazani su rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima izvedene varijable, indeksa sinergije SI (RFD_{max}/F_{max}), na nivou svakog tretmana i između tretmana. Prikazane su prosečna vrednost, vrednost standardne devijacije, vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (P). U tabeli prikazani rezultati pokazuju da na nivou između tretmana u inicijalnom testu postoji statistički značajna razlika ($p \leq 0.05$) kao i kod tretmana od 15 sekundi i 30 sekundi. Intraklasni koeficijent korelacije (eng. ICC) je na nivou između tretmana inicijalnog testa iznosi 0.806 (u intervalu od 0.60 do 0.92), a vrednost parcijalnog eta kvadrata je bila 0.589.

Tabela 17. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima izvedene varijable.

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	P
	15s	30s	60s	Kontrolni		
SI_Index_Inc_T	SI_Index_Inc_T	SI_Index_Inc_T	SI_Index_Inc_T	SI_Index_Inc_T		
Mean \pm SD	4.77 \pm 0.63	4.40 \pm 0.57	4.20 \pm 0.61	4.37 \pm 0.52	0.41	0.001*
T_1	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt		
	4.33 \pm 0.46	4.38 \pm 0.63	4.30 \pm 0.70	4.37 \pm 0.61	0.95	0.83
T_2	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt		
	4.22 \pm 0.69	4.21 \pm 0.63	4.23 \pm 0.61	4.26 \pm 0.61	0.99	0.99
T_3	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt	SI_Index_Nkn_Trt		
	4.13 \pm 0.56	4.13 \pm 0.66	4.11 \pm 0.64	4.21 \pm 0.55	0.93	0.76
Wilks' Lambda	0.38	0.54	0.73	0.78		
p	0.001*	0.01*	0.15	0.23		

Pronađene statistički značajne razlike u tabeli 17 na nivou između tretmana u inicijalnom testu detaljnije su prikazane u tabeli 18, na nivou tretmana od 15 sekundi u tabeli 19, a tretmana od 30 sekundi u tabeli 20. U Tabeli 18 u inicijalnom testu značajne razlike su prikazane između tretmana od 15 sekundi i ostalih tretmana.

Tabela 18. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima izvedene varijable u Inc_T.

Pairwise Comparisons						
SI indeks		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
SI_Index_Inc_T_15s	SI_Index_Inc_T_30s	0.378*	0.11	0.01*	0.06	0.69
	SI_Index_Inc_T_60s	0.573*	0.12	0.00*	0.23	0.91
	SI_Index_Inc_T_Con	0.400*	0.13	0.03*	0.02	0.78
SI_Index_Inc_T_30s	SI_Index_Inc_T_60s	0.19	0.12	0.72	-0.16	0.55
	SI_Index_Inc_T_Con	0.02	0.14	1.00	-0.38	0.42
SI_Index_Inc_T_60s	SI_Index_Inc_T_Con	-0.17	0.10	0.63	-0.47	0.13

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 19 kod tretmana od 15 sekundi značajne razlike su prikazane između inicijalnog testa i testa 1, 2 i 3.

Tabela 19. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima izvedene varijable u tretmanu od 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
SI indeks		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
SI_Index_Inc_T	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_1	0.441*	0.11	0.00*	0.12	0.76
	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_2	0.559*	0.12	0.00*	0.20	0.92
	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_3	0.646*	0.12	0.00*	0.30	0.99
SI_Index_Nkn_Trtrt_T_1	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_2	0.12	0.09	1.00	-0.14	0.38
	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_3	0.21	0.07	0.07	-0.01	0.42
SI_Index_Nkn_Trtrt_T_2	SI_Index_Nkn_Trtrt_T_3	0.09	0.07	1.00	-0.12	0.29

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 20 kod tretmana od 30 sekundi prikazane su značajne razlike između inicijalnog testa i testa 3 kao i između testa 1 i testa 3.

Tabela 20. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima izvedene varijable u tretmanu od 30 sekundi.

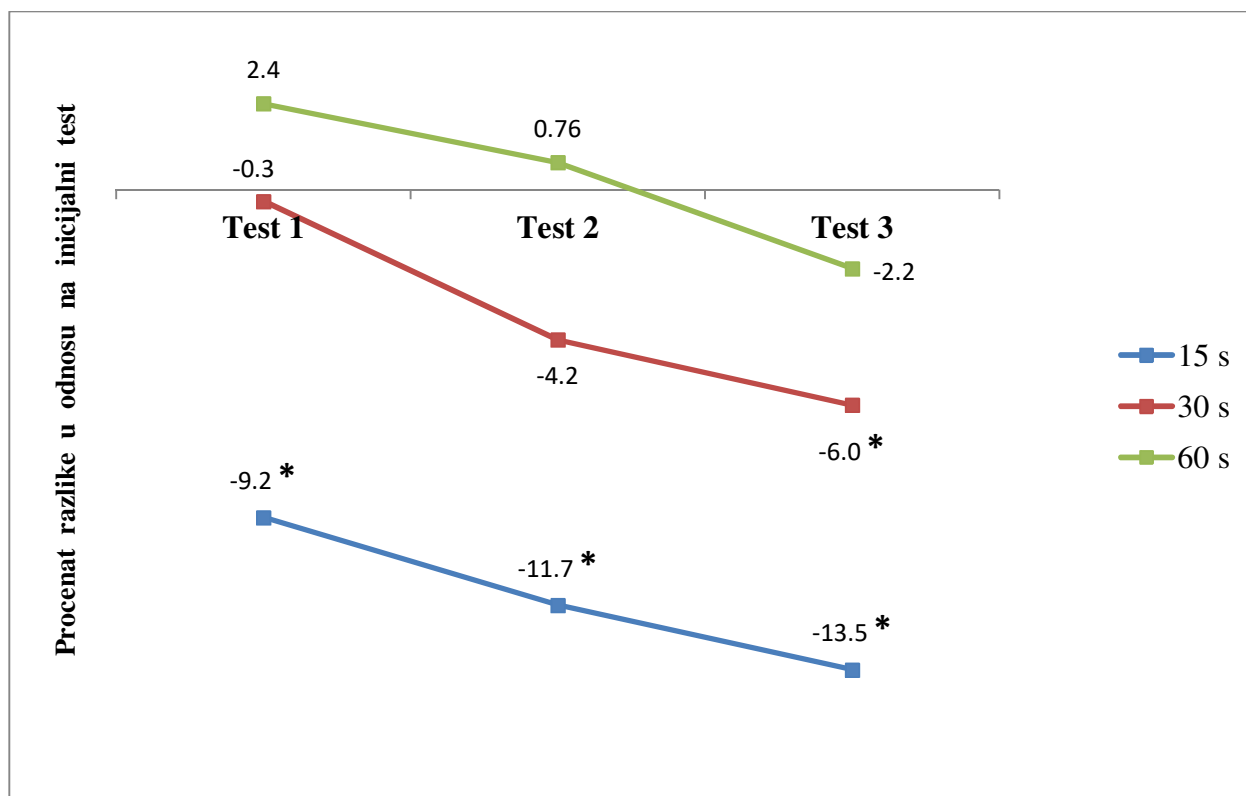
Pairwise Comparisons						
SI indeks		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
SI_Index_Inc_T	SI_Index_Nkn_Trn_T_1	0.01	0.08	1.00	-0.21	0.24
	SI_Index_Nkn_Trn_T_2	0.19	0.07	0.06	-0.01	0.38
	SI_Index_Nkn_Trn_T_3	0.267*	0.07	0.01*	0.06	0.47
SI_Index_Nkn_Trn_T_1	SI_Index_Nkn_Trn_T_2	0.17	0.09	0.41	-0.09	0.43
	SI_Index_Nkn_Trn_T_3	0.253*	0.08	0.04*	0.01	0.50
SI_Index_Nkn_Trn_T_2	SI_Index_Nkn_Trn_T_3	0.08	0.05	0.80	-0.07	0.23

Based on estimated marginal means.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Grafikonu 3 su prikazane relativne razlike u procentima između prosečnih vrednosti kod tri tretmana, odnosno između testa 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje. Negativna tendencija je prisutna kod sva tri tretmana, vrednost izvedene varijable SI opada. Statistički značajna razlika (*) je prisutna kod tretmana od 15 s i 30 s. Kod tretmana od 15 sekundi značajna razlika je prisutna kod sva tri testa nakon tretmana u odnosu na inicijalni test dok kod tretmana od 30 sekundi značajnost je kod testa 3.



Grafikon 3. Relativne razlike (u %) između prosečnih vrednosti SI tri tretmana između testova 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje

8.3. Rezultati temperature mišića

U Tabeli 21 prikazani su rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable temperatura mišića- T_m izražene u stepenima celzijusa ($^{\circ}\text{C}$) na nivou svakog pojedinačnog tretmana i između tretmana. T_m_AVG predstavlja prosečnu vrednost temperature obe noge. Prikazane su prosečna vrednost, vrednost standardne devijacije, vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (P). Statistički značajne razlike pronađene su na nivou svakog pojedinačnog tretmana kao i na nivou između tretmana pre opšteg zagrevanja (Z), posle (pos) opšteg i specifičnog zagrevanja i na nivou 1-og minuta pauze nakon inicijalnog testa. Vrednost ICC između tretmana pre početka opšteg zagrevanja je bila 0.709 (u intervalu od 0.44 do 0.87), dok je vrednost parcijalnog eta kvadrata bila 0.573

Tabela 21. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C).

Merenje	Tretman				Wilks' Lambda	P
	15s	30s	60s	Kontrolni		
Mean ± SD	Tm_AVG_pre_Z 35.62 ± 0.32	Tm_AVG_pre_Z 35.72 ± 0.49	Tm_AVG_pre_Z 35.81 ± 0.48	Tm_AVG_pre_Z 36.04 ± 0.33	0.43	0.002*
	Tm_AVG_pos_Z 35.42 ± 0.61	Tm_AVG_pos_Z 35.80 ± 0.42	Tm_AVG_pos_Z 35.86 ± 0.40	Tm_AVG_pos_Z 35.61 ± 0.26	0.36	0.001*
Inc_T	Tm_AVG_pos_1'p 35.82 ± 0.39	Tm_AVG_pos_1'p 35.95 ± 0.22	Tm_AVG_pos_1'p 35.91 ± 0.34	Tm_AVG_pos_1'p 35.64 ± 0.25	0.44	0.002*
Inc_T	Tm_AVG_pos_15'p 35.71 ± 0.33	Tm_AVG_pos_15'p 35.54 ± 0.43	Tm_AVG_pos_15'p 35.75 ± 0.33	Tm_AVG_pos_15'p 35.64 ± 0.22	0.80	0.28
	Tretman	Tretman	Tretman	Bez tretmana		
T_1	Tm_AVG_pos_1'p 35.65 ± 0.27	Tm_AVG_pos_1'p 35.50 ± 0.42	Tm_AVG_pos_1'p 35.72 ± 0.28	Tm_AVG_pos_1'p 35.54 ± 0.27	0.70	0.10
T_1	Tm_AVG_pos_5'p 35.63 ± 0.27	Tm_AVG_pos_5'p 35.51 ± 0.41	Tm_AVG_pos_5'p 35.71 ± 0.28	Tm_AVG_pos_5'p 35.52 ± 0.25	0.68	0.08
Wilks' Lambda	0.23	0.24	0.41	0.14		
p	0.000*	0.000*	0.005*	0.000*		

Detaljan prikaz značajnih razlika između tretmana pre početka zagrevanja predstavljen je u Tabeli 22. Značajne razlike su prikazane između tretmana od 15 sekundi i kontrolnog tretmana i između tretmana od 30 sekundi i kontrolnog tretmana.

Tabela 22. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) između tretmana pre početka opšteg zagrevanja.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C) pre zagrevanja		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
Tm_AVG_pre_Z_15s	Tm_AVG_pre_Z_30s	-0.10	0.09	1.00	-0.36	0.16
	Tm_AVG_pre_Z_60s	-0.19	0.11	0.56	-0.50	0.13
	Tm_AVG_pre_Z_Con	-0.425*	0.09	0.001*	-0.69	-0.16
Tm_AVG_pre_Z_30s	Tm_AVG_pre_Z_60s	-0.09	0.10	1.00	-0.38	0.20
	Tm_AVG_pre_Z_Con	-0.327*	0.09	0.01*	-0.58	-0.07
Tm_AVG_pre_Z_60s	Tm_AVG_pre_Z_Con	-0.24	0.11	0.25	-0.55	0.08

Based on estimated marginal means
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 23 pregled detaljnih značajnih razlika između tretmana posle opšteg i specifičnog zagrevanja prikazan je između tretmana od 15 sekundi i tretmana od 30 sekundi i 60 sekundi.

Tabela 23. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) između tretmana posle opšteg i specifičnog zagrevanja.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C) posle Z		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
Tm_AVG_pos_Z_15s	Tm_AVG_pos_Z_30s	-0.379*	0.09	0.002*	-0.64	-0.12
	Tm_AVG_pos_Z_60s	-0.440*	0.13	0.02*	-0.81	-0.07
	Tm_AVG_pos_Z_Con	-0.19	0.12	0.81	-0.55	0.17
Tm_AVG_pos_Z_30s	Tm_AVG_pos_Z_60s	-0.06	0.10	1.00	-0.37	0.25
	Tm_AVG_pos_Z_Con	0.19	0.08	0.22	-0.06	0.44
Tm_AVG_pos_Z_60s	Tm_AVG_pos_Z_Con	0.25	0.09	0.07	-0.01	0.51

Based on estimated marginal means
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Značajne razlike u 1. minutu pauze nakon inicijalnog testa između tretmana predstavljene su u Tabeli 24. Značajne razlike prikazane su između tretmana od 30 sekundi i kontrolnog tretmana.

Tabela 24. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) između tretmana u 1. minutu pauze nakon inicijalnog testa.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b		
				Lower Bound	Upper Bound	
Tm_AVG_Inc_T_15s	Tm_AVG_Inc_T_30s	-0.13	0.08	0.68	-0.36	0.10
	Tm_AVG_Inc_T_60s	-0.09	0.09	1.00	-0.34	0.16
	Tm_AVG_Inc_T_Con	0.18	0.09	0.43	-0.10	0.46
Tm_AVG_Inc_T_30s	Tm_AVG_Inc_T_60s	0.04	0.08	1.00	-0.20	0.28
	Tm_AVG_Inc_T_Con	0.310*	0.06	0.001*	0.12	0.50
Tm_AVG_Inc_T_60s	Tm_AVG_Inc_T_Con	0.27	0.09	0.06	-0.01	0.55

Based on estimated marginal means
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Kod tretmana od 15 sekundi značajne razlike su prikazane između trenutka posle opšteg i specifičnog zagrevanja i 1. minuta pauze nakon inicijalnog testa u Tabeli 25.

Tabela 25. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) tretmana 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Diff. ^b		
				Lower Bound	Upper Bound	
Tm_AVG_pre_Z	Tm_AVG_pos_Z	0.21	0.11	1.00	-0.18	0.59
	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.20	0.08	0.32	-0.46	0.07
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	-0.08	0.07	1.00	-0.33	0.16
	Tm_AVG_T_1_1'p	-0.03	0.05	1.00	-0.20	0.14
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.00	0.05	1.00	-0.18	0.17
Tm_AVG_pos_Z	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-.402*	0.07	0.000*	-0.65	-0.16
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	-0.29	0.13	0.52	-0.71	0.14
	Tm_AVG_T_1_1'p	-0.23	0.11	0.71	-0.60	0.14
	Tm_AVG_T_1_5'p	-0.21	0.11	1.00	-0.59	0.17
Tm_AVG_Inc_T_1'p	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.11	0.07	1.00	-0.13	0.36
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.17	0.07	0.34	-0.06	0.40
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.19	0.07	0.16	-0.04	0.42
Tm_AVG_Inc_T_15'p	Tm_AVG_T_1_1'p	0.05	0.04	1.00	-0.09	0.19
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.08	0.04	0.75	-0.05	0.21
Tm_AVG_T_1_1'p	Tm_AVG_T_1_5'p	0.03	0.02	1.00	-0.04	0.09

Based on estimated marginal means
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Tabela 26 predstavlja detaljno značajne razlike kod tretmana od 30 sekundi. Značajne razlike su prikazane između posle opšteg i specifičnog zagrevanja i 1. minuta i 5. minuta pauze nakon testa 1, između 1. minuta pauze nakon inicijalnog testa i 15. minuta pauze nakon inicijalnog testa, 1. minuta i 5. minuta pauze nakon testa 1. Rezultati pokazuju da je došlo do značajnog smanjenja Tm.

Tabela 26. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) tretmana 30 sekundi.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
Tm_AVG_pre_Z	Tm_AVG_pos_Z	-0.08	0.07	1.00	-0.33	0.18
	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.23	0.10	0.49	-0.56	0.10
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.18	0.12	1.00	-0.23	0.59
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.22	0.09	0.34	-0.08	0.51
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.21	0.09	0.33	-0.07	0.50
Tm_AVG_pos_Z	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.15	0.07	0.67	-0.39	0.09
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.26	0.11	0.38	-0.10	0.61
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.293*	0.07	0.013*	0.04	0.54
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.290*	0.07	0.011*	0.05	0.53
Tm_AVG_Inc_T_1'p	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.410*	0.09	0.004*	0.10	0.72
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.446*	0.07	0.000*	0.20	0.69
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.443*	0.07	0.000*	0.21	0.68
Tm_AVG_Inc_T_15'p	Tm_AVG_T_1_1'p	0.04	0.10	1.00	-0.31	0.39
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.03	0.10	1.00	-0.32	0.38
Tm_AVG_T_1_1'p	Tm_AVG_T_1_5'p	0.00	0.01	1.00	-0.03	0.02

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 27 detaljan pregled pokazuje da kod tretmana od 60 sekundi značajne razlike su prikazane između 1. minuta pauze nakon inicijalnog testa i 1. minuta i 5. minuta nakon testa 1. Rezultati pokazuju da je došlo do značajnog smanjenja vrednosti Tm.

Tabela 27. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) tretmana 60 sekundi.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
	Tm_AVG_pos_Z	-0.04	0.08	1.00	-0.30	0.21
	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.10	0.09	1.00	-0.39	0.20
Tm_AVG_pre_Z	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.06	0.08	1.00	-0.22	0.34
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.10	0.10	1.00	-0.22	0.42
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.10	0.10	1.00	-0.22	0.42
	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.05	0.03	1.00	-0.16	0.06
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.11	0.07	1.00	-0.12	0.33
Tm_AVG_pos_Z	Tm_AVG_T_1_1'p	0.14	0.07	0.76	-0.09	0.37
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.14	0.07	0.76	-0.09	0.37
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.16	0.06	0.15	-0.03	0.35
Tm_AVG_Inc_T_1'p	Tm_AVG_T_1_1'p	0.195*	0.05	0.02*	0.02	0.37
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.195*	0.05	0.02*	0.02	0.37
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.03	0.06	1.00	-0.15	0.22
Tm_AVG_Inc_T_15'p	Tm_AVG_T_1_5'p	0.03	0.06	1.00	-0.15	0.22
Tm_AVG_T_1_1'p	Tm_AVG_T_1_5'p	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Kontrolni tretman, Tabela 28 i detaljan pregled značajnih razlika prikazuje da između izmerenih vrednosti pre početka Z i ostalih vremenskih okvira merenja Tm postoji statistički značajna razlika. Tm se značajno smanjila, u svakom trenutku merenja u odnosu na inicijalnu vrednost pre Z. Ovakva tendencija rezultata nije pronađena kod ostalih tretmana.

Tabela 28. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable Tm (°C) kontrolnog tretmana.

Pairwise Comparisons						
Tm (°C)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
Tm_AVG_pre_Z	Tm_AVG_pos_Z	0.441*	0.08	0.000*	0.18	0.70
	Tm_AVG_Inc_T_1'p	0.409*	0.09	0.004*	0.10	0.71
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.414*	0.08	0.001*	0.14	0.68
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.511*	0.07	0.000*	0.26	0.76
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.521*	0.07	0.000*	0.28	0.76
Tm_AVG_pos_Z	Tm_AVG_Inc_T_1'p	-0.03	0.04	1.00	-0.17	0.11
	Tm_AVG_Inc_T_15'p	-0.03	0.05	1.00	-0.18	0.13
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.07	0.06	1.00	-0.13	0.27
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.08	0.06	1.00	-0.11	0.27
Tm_AVG_Inc_T_1'p	Tm_AVG_Inc_T_15'p	0.01	0.04	1.00	-0.14	0.15
	Tm_AVG_T_1_1'p	0.10	0.06	1.00	-0.09	0.29
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.11	0.05	0.69	-0.06	0.29
Tm_AVG_Inc_T_15'p	Tm_AVG_T_1_1'p	0.10	0.04	0.65	-0.05	0.25
	Tm_AVG_T_1_5'p	0.11	0.04	0.37	-0.04	0.26
Tm_AVG_T_1_1'p	Tm_AVG_T_1_5'p	0.01	0.01	1.00	-0.02	0.04

Based on estimated marginal means
 *. The mean difference is significant at the 0.05 level.
 b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

8.4. Rezultati površinske elektromiografske aktivnosti mišića

U Tabeli 29 prikazani su rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable površinska elektromiografska aktivnost pEMG, izražene u mikrovoltima (μV) na nivou svakog pojedinačnog tretmana i između tretmana. Prosečna vrednost obe noge pEMG_AVG_{max} je predstavljena kao maksimalna postignuta vrednost od tri pokušaja pri MVIC. U konačnoj analizi prikazani su rezultati 14 ispitanika. Prikazane su prosečna vrednost, vrednost standardne devijacije, vrednost Wilks' Lambda testa i nivo značajnosti (P). Statistički značajne razlike pronađene su na nivou svakog pojedinačnog tretmana kao i na nivou između tretmana u testu 2 i testu 3. Vrednost ICC prilikom inicijalnog testa je bila 0.894 (u intervalu od 0.738 do 0.963), a vrednost parcijalnog eta kvadrata 0.252.

Tabela 29. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max}.

Merenje	Tretman			Wilks' Lambda	p
	15s	30s	60s		
Inc_T	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}		
Mean ± SD	276.84 ± 84.74	255.35 ± 69.02	239.80 ± 76.66	0.75	0.18

T_1	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}		
	293.13 ± 88.13	277.48 ± 62.79	257.90 ± 81.20	0.67	0.09

T_2	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}		
	285.29 ± 91.80	268.01 ± 67.37	245.13 ± 83.77	0.52	0.02*

T_3	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}	pEMG_AVG _{max}		
	263.14 ± 88.71	275.79 ± 65.44	234.00 ± 71.89	0.36	0.002*

Wilks' Lambda	0.47	0.27	0.42		
p	0.03*	0.002*	0.002*		

U Tabeli 30 prikazane su statistički značajne razlike između tretmana u testu 2. U tabeli se uočava da je značajna razlika između tretmana 15 sekundi i tretmana 60 sekundi.

Tabela 30. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max} između tretmana u testu 2.

Pairwise Comparisons						
pEMG_AVG _{max} (μV)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
pEMG_AVG _{max_15s}	pEMG_AVG _{max_30s}	17.28	12.22	0.54	-16.26	50.83
	pEMG_AVG _{max_60s}	40.16*	12.00	0.02*	7.21	73.12
pEMG_AVG _{max_30s}	pEMG_AVG _{max_60s}	22.88	15.36	0.48	-19.30	65.06

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 31 prikazane su statistički značajne razlike između tretmana u testu 3. U tabeli se uočava da je značajna razlika između tretmana 30 sekundi i tretmana 60 sekundi.

Tabela 31. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max} između tretmana u testu 3.

Pairwise Comparisons						
pEMG_AVG _{max} (μV)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
pEMG_AVG _{max_15s}	pEMG_AVG _{max_30s}	-12.65	10.15	0.70	-40.52	15.22
	pEMG_AVG _{max_60s}	28.14	11.03	0.07	-2.14	58.42
pEMG_AVG _{max_30s}	pEMG_AVG _{max_60s}	40.78*	8.44	0.001*	17.61	63.97

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 32 prikazane su statistički značajne razlike u tretmanu 15 sekundi. U tabeli se uočava da je značajna razlika između testa 1 i testa 3.

Tabela 32. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max} u tretmanu 15 sekundi.

Pairwise Comparisons						
pEMG_AVG _{max} (μV)		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
pEMG_AVG _{max_Inc_T}	pEMG_AVG _{max_T_1}	-16.30	7.30	0.26	-38.98	6.38
	pEMG_AVG _{max_T_2}	-8.46	7.48	1.00	-31.68	14.77
	pEMG_AVG _{max_T_3}	13.70	10.08	1.00	-17.62	45.03
pEMG_AVG _{max_T_1}	pEMG_AVG _{max_T_2}	7.84	4.34	0.56	-5.64	21.33
	pEMG_AVG _{max_T_3}	30.00*	8.55	0.02*	3.43	56.58
pEMG_AVG _{max_T_2}	pEMG_AVG _{max_T_3}	22.16	8.10	0.10	-3.00	47.32

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 33 prikazane su statistički značajne razlike u tretmanu 30 sekundi. U tabeli se uočava da je značajna razlika između inicijalnog testa i testa 1 i između inicijalnog testa i testa 3. Izmerene vrednosti su se značajno povećale.

Tabela 33. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max} u tretmanu 30 sekundi.

pEMG_AVG _{max} (μV)		Pairwise Comparisons			95% Confidence Interval for Difference ^b	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	Lower Bound	Upper Bound
pEMG_AVG _{max} _Inc_T	pEMG_AVG _{max} _T_1	-22.12*	5.57	0.01*	-39.43	-4.83
	pEMG_AVG _{max} _T_2	-12.66	9.06	1.00	-40.81	15.49
	pEMG_AVG _{max} _T_3	-20.43*	5.30	0.01*	-36.90	-3.96
pEMG_AVG _{max} _T_1	pEMG_AVG _{max} _T_2	9.47	5.40	0.62	-7.32	26.26
	pEMG_AVG _{max} _T_3	1.70	3.13	1.00	-8.02	11.41
pEMG_AVG _{max} _T_2	pEMG_AVG _{max} _T_3	-7.77	5.50	1.00	-24.86	9.32

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

U Tabeli 34 prikazane su statistički značajne razlike u tretmanu 60 sekundi. U tabeli se uočava da je značajna razlika između testa 1 i testa 3.

Tabela 34. Rezultati analize varijanse sa ponovljenim merenjima zavisne varijable pEMG_AVG_{max} u tretmanu 60 sekundi.

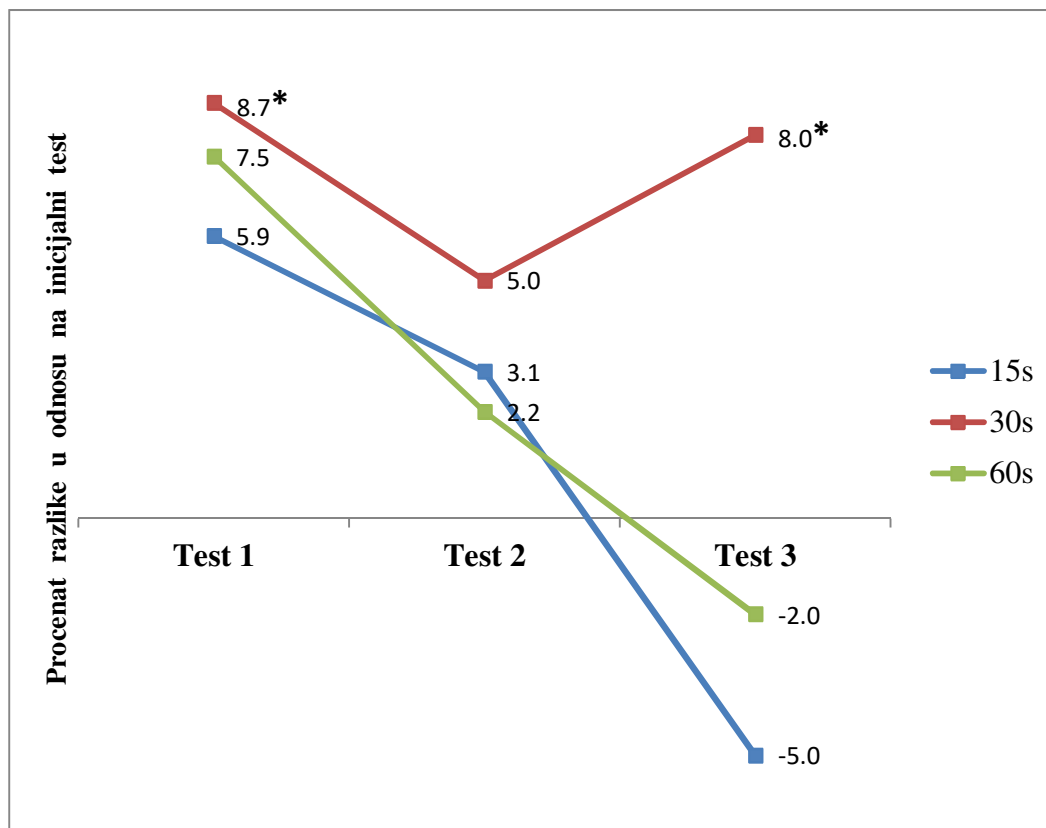
pEMG_AVG _{max} (μV)		Pairwise Comparisons			95% Confidence Interval for Difference ^b	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	Lower Bound	Upper Bound
pEMG_AVG _{max} _Inc_T	pEMG_AVG _{max} _T_1	-18.10	7.78	0.22	-42.26	6.06
	pEMG_AVG _{max} _T_2	-5.33	7.17	1.00	-27.61	16.95
	pEMG_AVG _{max} _T_3	4.81	7.52	1.00	-18.55	28.17
pEMG_AVG _{max} _T_1	pEMG_AVG _{max} _T_2	12.77	4.79	0.12	-2.11	27.64
	pEMG_AVG _{max} _T_3	22.90*	5.67	0.008*	5.30	40.52
pEMG_AVG _{max} _T_2	pEMG_AVG _{max} _T_3	10.14	5.83	0.63	-7.97	28.25

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Relativne razlike u procentima kod svakog tretmana između testa 1, 2 i 3 u odnosu na prosečne vrednosti inicijalnog testa prikazane su u Grafikonu 4. Bez obzira na nedostatak statistički značajnih razlika može se uočiti određena negativna tendencija akutnih efekata kod tretmana od 15 sekundi i 60 sekundi, dok se kod tretmana od 30 sekundi uočava statistički značajna pozitivna tendencija (*) u testu 1 i testu 3, a i pozitivan rezultat je u testu 2 ali bez značaja.



Grafikon 4. Relativne razlike (u %) između prosečnih vrednosti pEMG_AVGmax tri tretmana između testova 1, 2 i 3 u odnosu na inicijalno testiranje

9. DISKUSIJA

9.1. Diskusija rezultata karakteristika maksimalne mišićne jačine

Rezultati prikazani u Tabeli 2 zavisne varijable maksimalne mišićne jačine pri maksimalnoj voljnoj izometrijskoj kontrakciji (F_{max}) su pokazali da VFR tretman bez obzira na dužinu trajanja nije izazvao akutne efekte. Ovaj nalaz je u saglasnosti sa nalazom najnovijih prethodnih istraživanja (Nakamura, Sato, Kiyono, Yoshida, Murakami, et al., 2021; Nakamura, Sato, Kiyono, Yoshida, Yasaka, et al., 2021), gde su autori koristili VFR tretman trajanja 60 sekundi pri frekvenciji od 48 Hz takođe na mišićima plantarnim fleksorima na uzorku od 15, odnosno 16 zdravih netreniranih ispitanika muškog pola prosečne starosti 22.5 ± 3.1 godina su došli do zaključka da dati tretman ne utiče na promene u mišićnoj jačini. Istraživanje realizovano na uzorku od 38 studenta (19 muškaraca prosečne starosti 19.5 ± 7.2 godina i 19 žena prosečne starosti 21.8 ± 2.7 godina) je takođe došlo do istih nalaza pri VFR tretmanu trajanja tri serije po 20 sekundi pri frekvenciji 49 Hz na mišićima plantarnim fleksorima koristeći sličan dizajn testiranja u pogledu opreme i konstrukcije (García-Gutiérrez et al., 2018). Nasuprot ovog nalaza, istraživanje na uzorku 14 (12 muškaraca prosečne starosti 23 ± 4 godine i dve žene prosečne starosti 22 ± 3 godine) rekreativno treniranih ispitanika korišćenjem klasičnog roler masažera, bez vibracije (2) pri trajanju tretmana tri serije po 30 sekundi dovelo do poboljšanja produkcije mišićne sile od 8.2 % u prvih 100 ms pri MVIC i 4 % poboljšanja u absolutnoj vrednosti MVIC 10 minuta nakon tretmana (Halperin, Aboodarda, Button, Andersen, & Behm, 2014). Autori navedenog istraživanja su koristili dva inicijalna testa razdvojena pauzom od 10 minuta i sličnu opremu i konstrukciju, a takođe su testirali plantarne fleksore ali jedne noge. Kriterijum za učešće u istraživanju autori su naveli da je dva treninga nedeljno za razliku od ovog istraživanja koje za kriterijum učešća postavilo tri puta nedeljno intenzivan trening snage zbog čega se može smatrati da su dobijeni rezultati relevantniji jer je kriterijum odabira uzorka bio strožiji (30 % veći obim treninga).

Istraživanje na uzorku 30 studenata muškog pola prosečne starosti 20.4 ± 1.2 godina, korišćenjem VFR tretmana trajanja tri serije po 30 sekundi pri frekvenciji 28 Hz na mišićima prednje i zadnje lože natkolenice dovelo je do poboljšanja mišićne jačine prednje lože natkolenice 2 puta više u odnosu na druge metode primenjene u istraživanju, a u funkciji zagrevanja za trenažni proces (Lee et al., 2018). Skorašnje istraživanje (Reiner et al., 2021) na uzorku od 21 aktivnih ispitanika muškog pola prosečne starosti 25.2 ± 3.8 godina pri poređenju VFR tretmana i FR tretmana došlo je većeg procenta povećanja pri MVIC na izokinetičkom dinamometru kod grupe koja je imala VFR tretman u trajanju od ukupno tri minuta pri frekvenciji od 30 Hz (jedan minut po mišiću, sa 30 sekundi pauze, prednje lože natkolenice). Najnovije istraživanje na uzorku od 15 zdravih ispitanika muškog pola prosečne starosti 22.5 ± 3.3 godina (Nakamura et al., 2022) poredilo je kombinovane efekte statičkog rastezanja i FR tretmana (sa i bez vibracije) u trajanju od tri serije po 60 sekundi na mišićima prednje lože natkolenice. Pored drugih, testirane varijable od interesa su bile MVIC i MVCC (maksimalna volja koncentrična kontrakcija). Autori su došli do zaključka da dodavanje vibracije izgleda ne utiče na veličinu promene rezultata testiranih varijabli.

Kada je u pitanju zavisna varijabla tF_{max} , pregledom rezultata u Tabeli 4 uočava se da postoji statistički značajna razlika kod tretmana 15 i 60 sekundi. Detaljnom analizom rezultata u Tabeli 5

uočena značajnost razlika između testa 1 i testa 2 nakon tretmana ne može biti potvrđena kao posledica tretmana ili protokola istraživanja. Detaljan prikaz analize rezultata u Tabeli 6 pokazuje da nema statistički značajnih razlika. Naime, samo kod tretmana od 15 sekundi između testa 1 i testa 2 je prisutna statistički značajna razlika za koju se ne može sa sigurnošću tvrditi da je posledica tretmana. Dosadašnji pregled drugih istraživanja pokazao je da nema nalaza koji su ovu varijablu na ovakav način merili, u absolutnoj vrednosti. Novije istraživanje (Nakamura et al., 2022) koje je poredilo efekte VFR tretmana niže 35 Hz i više frekvencije 67 Hz u trajanju od tri serije po 60 sekundi na opružacima zgloba kolena došlo je do rezultata da 20 minuta nakon oba tretmana mišićna jačina ostaje smanjena što je u suprotnosti sa nalazom u ovom istraživanju. Zaključak na osnovu obrađenih istraživanja u meta analizi da FRt (bez vibracije) nema uticaja na mišićnu jačinu u izometrijskim uslovima (Glänzel et al., 2022) je u saglasnosti sa rezultatima ovog istraživanja.

9.2. Diskusija rezultata karakteristika maksimalne eksplozivne mišićne jačine

Rezultati u Tabeli 7 prikazuju da je zavisna varijabla RFD_{max} statistički značajno negativno promenjena. Procentualne razlike i negativnu tendenciju sva tri tretmana ilustruje Grafikon 1. Najveću negativnu tendenciju proizveli su tretman od 15 i 30 sekundi. Zanimljivost nalaza leži u činjenici da što je tretman duži, manja je negativna tendencija opadanja rezultata. Dobijeni rezultat predstavlja za sada u odnosu na druga istraživanja jedini nalaz ovakve vrste. Može se pretpostaviti da kada bi VFR tretman bio dužeg trajanja rezultati bi postali pozitivni, međutim to je smernica za buduća istraživanja na znatno većem uzorku ispitanika. Za razliku od ovog nalaza, autori u istraživanju upotrebe FR tretmana (bez vibracije) za aktivnosti eksplozivnog karaktera, na primer skokove, sugerišu da tretman duži od 60 sekundi treba izbegavati (Phillips, et al., 2021). FRt (bez vibracije) u trajanju od tri serije po 30 sekundi izazvao je smanjenje mišićne jačine u prvih 200 milisekundi prilikom MVIC, autori navode da je verovatno zbog neuralnih mehanizama povezanih sa Ia, II, III i IV aferentnom inhibicijom (Cavanaugh et al., 2017).

U istraživanju realizovanom na uzorku od 34 ispitanika gde je primenjen FRt (bez vibracije) u trajanju od deset serija po 30 sekundi na mišićima zadnje lože natkolenice jedne noge ispitivan je ukršteni efekat, odnosno uticaj tretmana na drugu nogu (koja nije podvrgnuta tretmanu), rezultati su pokazali da je tretman smanjio sposobnost generisanja sile posebno u ranoj fazi (prvih 50 ms) maksimalne eksplozivne kontrakcije (Ye et al., 2019). Međutim, Sniker je sa saradnicima publikovao studiju sa meta analizom u kojoj u čijem zaključku se sugeriše da nema negativnih efekata FRt (bez vibracije) na pokazatelje atletskih performansi, što je delimično u direktnoj suprotnosti sa nalazima ovog istraživanja (Skinner et al., 2020). Sa druge strane, u drugoj meta analiza na osnovu obrađenih rezultata autori su zaključili da FRt nema uticaja na brzinu razvoja mišićne jačine što je u suprotnosti sa nalazom ovog istraživanja (Glänzel et al., 2022). Takođe, uticaj dve različite frekvencije pri VFR tretmanu na opružacima kolena nije imao negativnog uticaja na ranu i kasnu fazu RFD i visinu skoka (Nakamura et al., 2022). Ovakav nalaz je u suprotnosti sa nalazom u ovoj disertaciji. Moguće objašnjene leži u činjenici da su autori pomenutog istraživanja koristili tri serije po 60 sekundi što se može povezati sa prethodno navedenom pretpostavkom u ovom poglavlju da što je duži tretman manje su negativne tendencije na ispoljavanje RFD_{max} (Grafikon 1).

Ako se uzme u obzir nalaz istraživanja (Young et al., 2018) da upotreba roler masažera (bez vibracije) aktivira neuralne mehanizme koji izazivaju smanjenje spinalne ekscitabilnosti mišića soleusa moguće je da duži tretman sa vibracijom izaziva neku vrstu neuralne modulacije u vidu adaptacije koja za posledicu ima nepromenjene vrednosti RFD kod istraživanja (Nakamura et al., 2022).

Uticaj i upotreba vibracione tehnologije za celo telo kao fizičke vežbe ispitan je u istraživanju (Harwood, et al., 2017). U poziciji izometrijskog čučnja (prav ugao u zglobu kolena) na vibracionoj platformi pri frekvenciji od 45 Hz i amplitudi od 2mm u trajanju od pet serija po jedan minut na uzorku od 16 ispitanika prosečne starosti 24 ± 2 godine autori su došli do zaključka da je kontraktilna funkcija ograničena odmah nakon vibracionog tretmana zbog smanjene reaktivnosti i a nervnih puteva. Autori ističu da alternativna hipoteza koja leži u osnovi neuralnih mehanizama poboljšanja sposobnosti može biti aferentna Goldži modulacija ili disfacilitacija mišićnog vretena.

Sa aspekta rezultata varijable vreme ostvarivanja maksimalne eksplozivne mišićne jačine ($tRFD_{max}$) utvrđeno je da se ono pod uticajem sva tri tretmana produžilo, i to statistički značajno samo kod tretmana od 15 i 30 sekundi, što je u skladu sa prethodnim nalazom koji se tiče smanjenih vrednosti varijable RFD_{max} . Kod tretmana od 30 sekundi tek u trećem testu je prisutna značajna razlika koja može biti i posledica zamora ispitanika tako da se ne može sa sigurnošću tvrditi da je ona nastala zbog VFR tretmana. Kod VFR tretmana od 15 sekundi statistički značajne razlike su izraženije u odnosu na 30 sekundi VFR tretman što pokazuje da veći negativan uticaj tretmana kraćeg trajanja.

9.3. Diskusija rezultata indeksne varijable SI (indeks sinergije)

Ranije je utvrđeno da varijabla SI može biti pouzdana za procenu neuromišićne funkcije (Mirkov, Nedeljkovic, Milanovic, & Jaric, 2004). Rezultati u Tabeli 18 i 19 pokazuju da se VFR tretman od 15 sekundi izdvaja kao tretman uticaja i da je upravo taj tretman imao najveći uticaj na indeksnu varijablu SI (kao mere odnosa RFD_{max} i F_{max}). Negativan trend rezultata je prisutan kod sva tri tretmana, ali je nominalno najveći kod najkraćeg tretmana, tj. u trajanju od 15 sekundi (Grafikon 3). Ovakav rezultat je u saglasnosti sa prethodnim nalazima gde je konstatovano da se varijabla F_{max} nije menjala pod uticajem tretmana dok se varijabla RFD_{max} smanjivala, i to najviše pod uticajem VFR tretmana od 15 sekundi.

Prosečna vrednost SI u inicijalnom testu kod VFR tretmana od 15 sekundi je bila 4.77 ± 0.63 što je slično nalazu predhodno publikovanog istraživanja (Majstorović et al., 2021) realizovanog na uzorku od 120 muškaraca prosečne starosti 26.4 ± 2.8 godina. U datom istraživanju je utvrđeno da je vrednost iste varijable (SSI-eng. Special Synergy Index) pri istoj proceduri merenja kod istih mišića iznosila 4.78 ± 1.18 . Autori gore pomenutog istraživanja su takođe uočili negativan trend rezultata varijable SI u uzastopno ponovljenim merenjima, ali uz konstataciju da porast rezultata varijable F_{max} nije bio praćen adekvatnim porastom rezultata varijable RFD_{max} te se zbog toga vrednost datog indeksa smanjivala. Drugih istraživanja sa nalazima ove varijable, a koje se tiču upotrebe VFR i FR tretmana nema. Eksterna validnost ove varijable kada je u pitanju njena primena na izvođenje brzih pokreta ostaje upitna (Mirkov, et al., 2004).

9.4. Diskusija rezultata temperature mišića

Najveći uticaj na promenu temperature mišića imao je tretman od 30 sekundi. Rezultati Tabele 26 pokazuju statistički značajnu razliku na više vremenskih nivoa. Uočena razlika je na nivou odmah nakon zagrevanja i prvog i petog minuta pauze nakon testa 1 (Tabela 26). Takođe značajna razlika je uočena između vrednosti izmerene T_m u prvom minutu i 15. minutu pauze nakon inicijalnog testa kao i

između prvog minuta pauze nakon inicijalnog testa i prvog i petog minuta pauze nakon testa 1. Vrednosti su se promenile u negativnom smeru ali ovaj nalaz mora biti prihvaćen sa dozom rezerve jer ostali rezultati drugih tretmana nisu pokazali dovoljnu informativnost na osnovu koje bi se moglo tvrditi da je VFR tretman izazvao promenu Tm. Logičan i očekivan ishod na osnovu dužine trajanja tretmana samim tim i dužine trenja bio bi da je VFR tretman od 60 sekundi proizveo najveći akutni efekat povećanja temperature tretirane mišićne grupe, ali to nije utvrđeno u rezultatima.

Kako mehaničko delovanje na tkiva putem promene pritiska na tkiva i promene temperature tkiva proizvodi efekte koji bi potencijalno menjali prethodno pomenuta tiksotropna svojstva tkiva, a promena tih svojstava bi doprinela efikasnosti FRt (Murray et al., 2016). Istraživanje na uzorku od 20 zdravih odraslih ispitanika pri stajanju na Galileo vibracionoj platformi pri frekvenciji od 26 Hz pratilo je pomoću Dopler sonografije promene u zapremini krvi kod mišića zadnje strane potkolenice i prednje strane natkolenice (Kersch-Schindl et al., 2001). Zaključak istraživanja je značajno povećanje volumena krvi u pomenutim mišićima.

Uticaj na kontraktilne karakteristike kao što je vreme kontrakcije i sposobnost produkcije mišićne jačine može biti izvršen putem promene temperature mišića (Ranatunga et al., 1987). Uticaj FRt na promenu temperature mišića je neistražen. Do sada ovo je drugo istraživanje koje se bavilo ovom problematikom. Autori u istraživanju FRt u trajanju od 60 sekundi korišćenjem termokamere (eng. Infrared imaging) utvrdili su da FRt nije imao uticaja na promenu mišićne kontraktilnosti i temperature (Murray et al., 2016). Na uzorku od 20 ispitanika uzrasta 25 ± 4 godina koji su primenili FR tretman na mišićima prednje strane natkolenice u trajanju od dve serije po jedan minut i dve serije po tri minuta dobijeni rezultati pokazali su da duži tretman ima veću korist za perfuziju krvi. Ovaj nalaz može biti od interesa za specijaliste fizičke aktivnosti koji kreiraju režime za zagrevanje i hlađenje (smirivanje), zaključuju autori (Schroeder, Wilke, & Hollander, 2021). Mali broj istraživanja koji se bave ovom problematikom ostavlja mogućnost da buduća istraživanja budu usmerena u tom pravcu.

9.5. Diskusija rezultata pEMG

Značaj nalaza ovog istraživanja u pogledu promene varijable pEMG uvidom u prikaz rezultata doveo je do izdvajanja jednog tretmana koji je imao najveći akutni uticaj, odnosno statistički značajno različit uticaj, a to je VFR tretman od 30 sekundi. Na Grafikonu 4 je prikazano da je kod sva tri tretmana u prvom testu (odmah nakon tretmana) došlo do povećanja pEMG aktivnosti mišića nakon čega je usledio negativan trend kod tretmana od 15 i 60 sekundi. Negativno smanjena aktivnost u trećem testu kod tretmana od 15 i 60 sekundi mogla bi biti posledica zamora ispitanika, međutim rezultat tretmana od 30 sekundi pruža drugo objašnjenje. Istraživanje na uzorku od 21 muških fizički aktivnih ispitanika starosti 25.2 ± 3.8 godine gde je poređen uticaj VFR tretmana (30 Hz) i FR tretmana u trajanju od tri serije po 60 sekundi po mišiću prednje lože natkolenice (ukupno 180 sekundi), vrednosti rezultata pEMG aktivnosti mišića nisu se značajno razlikovale između tretmana pri MVIC, a takođe nije bilo ni značajne razlike između rezultata pre i nakon tretmana kod svakog tretmana posebno (Reiner et al., 2021). Nalaz prethodno navedenog istraživanja gde je korišćen tretman slične dužine trajanja i pri gotovo istoj frekvenciji je u suprotnosti sa nalazom ovog istraživanja. Na uzorku od 14 ispitanika rezultati pEMG aktivnosti mišića (soleus i tibialis anterior) pri poređenju statičkog rastezanja (eng. SS-static stretching) i FR tretmana (roler masažer), oba tretmana u trajanju od po tri serije po 30 sekundi, pokazali su da nije bilo značajnih razlika kod SS i FRt ni između SS i FRt (Halperin et al., 2014). Međutim, u navedenom istraživanju nije korišćen roler sa vibracijom. FRt je aktivan proces s obzirom da aktivacija mišića (Biceps femoris i Vastus lateralis) za vreme tretmana iznosila 7 % i 8 %

od MVIC, a pri tretiranju mišića prednje lože natkolenice pritiskom od 25 % težine ispitanika pomoću posebno dizajnirane konstrukcije (Bradbury-Squires et al., 2015). Autori su koristili trajanje tretmana od 20 i 60 sekundi po pet serija i kontrolni tretman bez FRt. Poređenjem rezultata pri izvođenju istog motoričkog zadatka (izvođenje iskoraka) tokom kojeg je snimana pEMG aktivnost mišića konstatovano je da je poboljšana aktivaciona efikasnost mišića (*Vastus lateralis*) jer je za isti zadatak registrovana manja pEMG aktivnost. Kokontraksije tokom FRt su normalan odgovor na očekivanu ili tokom potencijalne neprijatne situacije (Chambers & Cham, 2007; Pijnappels, Bobbert, & van Dieën, 2006).

Ranije je utvrđeno da se nakon FRt trajanja deset serija po 30 sekundi na mišićima zadnje lože natkolenice maksimalna pEMG amplituda ne menja (Ye et al., 2019). Pomenuti tretman je bez vibracije i znatno dužeg trajanja od primenjenog tretmana u ovoj studiji, a nalaz je u suprotnosti sa nalazom u ovom istraživanju. Upotreba vibracione tehnologije za celo telo u istraživanju gde je na vibracionoj platformi pri frekvenciji od 45 Hz u poziciji izometrijskog čučnja snimana pEMG aktivnost došlo se do zaključka da su rezultati amplitude H-refleksa i M talasa smanjeni nakon pet serija po jedan minut na platformi u odnosu na rezultate pre vibracionog tretmana. Rezultati amplitude M talasa su ostali smanjeni 20 minuta nakon vibracionog tretmana (Harwood et al., 2017). Sa druge strane istraživanje (Nakamura et al., 2021) pri FRt na plantarnim fleksorima došlo je do zaključka da se odnos H/M talasa kao mere ekscitabilnosti kičmene moždine nije promenio, a nezavisno od pola. FRt na mišićima zadnje lože natkolenice dominantne noge u trajanju od tri serije po 30 sekundi nije doveo do promena u pEMG vrednostima rezultata (mišić *biceps femoris* i *rectus femoris*) u odnosu na kontrolnu grupu (Madoni et al., 2018). Takođe, i ovaj nalaz je u suprotnosti sa nalazima ovog istraživanja.

Na uzorku od 11 ispitanika pri FRt trajanja dva minuta na mišićima prednje lože natkolenice došlo se do zaključka da se vrednost amplitude H refleksa vratila na početne vrednosti nakon dva minuta pauze po završetku tretmana što je omogućilo smanjenje aktivacije dubokih mehanoreceptora i normalnu produkciju sile (MacDonald et al., 2013). Smanjene vrednosti pEMG aktivnosti mišića pri submaksimalnom zadatku (50 % od MVC) nakon FRt u trajanju od dva minuta tokom tri uzastopna dana autori tumače kao poboljšanu efikasnost mišića (Macgregor et al., 2018). Pri tumačenju rezultata pEMG aktivnosti mišića treba biti oprezan. Može se uzeti u obzir nalaz istraživanja (Martinez-Valdes, Negro, Falla, De Nunzio, & Farina, 2018) koje nudi tumačenje da je Emg amplituda slaba determinanta neuralne modulacije. Potrebna su dodatna istraživanja koja bi potvrdila nalaze ovog istraživanja na većem uzorku ispitanika.

9.6. Metodološka razmatranja

Imajući u vidu manji broj ispitanika što predstavlja jedan nedostatak ovog istraživanja, u budućim istraživanjima treba obuhvatiti što veći broj ispitanika jer je mogućnost da neznačajan rezultat može biti posledica nedovoljne moći testa i povećanjem uzorka smanjuje se rizik da se napravi greška I vrste. Drugi nedostatak ovog istraživanja je izabrani uzorak ispitanika koji sa aspekta ekološke validnosti ograničava tumačenje zaključaka na drugim populacijama kod kojih bi akutni efekti primene VFR tretmana možda izazvali veće promene, a to su sportisti viših nivoa i elitni sportisti.

10. ZAKLJUČAK

Analiza akutnih efekata nakon primene eksperimentalnog tretmana tokom četiri sesije korišćenog u ovom istraživanju, a u skladu sa postavljenim ciljevima, zadacima i hipotezama dovela je do zaključka da su efekti VFR tretmana uticali na pojavu statistički značajnih razlika kod određenih zavisnih varijabli zbog čega se **generalna hipoteza - H_0** „Vibraciona samomasaža neće imati uticaja na ispoljavanje različitih voljnih karakteristika mišićne jačine” **odbacuje**.

Na osnovu analize rezultata zavisne varijable maksimalna voljna mišićna jačina definisana ostvarenom maksimalnom silom (F_{max}), akutni efekti sva tri VFR tretmana u poređenju sa kontrolnim tretmanom (bez VFR tretmana) nisu doveli do poboljšanja F_{max} pri MVIC zbog čega se **pomoćna hipoteza H_1** „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana povećati vrednosti maksimalne voljne izometrijske mišićne jačine” **odbacuje**. Praktična implikacija ovog nalaza, s obzirom da nije bilo negativnih akutnih efekata, ide u prilog tome da je VFR tretman bez negativnog efekta tj. bezbedna procedura za korišćenje u trenažnom procesu u odnosu na ispitivane vremenske intervale a gde je cilj trenažnog procesa pozitivan uticaj na mišićnu jačinu.

Analiza rezultata uticaja VFR tretmana na maksimalnu brzinu voljnog razvoja mišićne jačine (RFD_{max}) pokazala je negativan uticaj tako da se **pomoćna hipoteza H_2** „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana povećati sposobnost mišića za ispoljavanjem eksplozivne mišićne jačine” **odbacuje**. VFR tretman trajanja 15 sekundi i 30 sekundi je statistički značajno negativno uticao na zavisnu varijablu RFD_{max} . Negativna tendencija postoji i kod VFR tretmana trajanja 60 sekundi ali je bez statističke značajnosti. Praktična implikacija ovakvog nalaza upućuje na objektivnu restriktivnost i opreznost primene ovakve procedure od strane svih učesnika u trenažnom procesu, posebno kod aktivnosti koje karakteriše brz i eksplozivan pokret i kretanje.

Akutni efekti kada je u pitanju uticaj VFR tretmana na temperaturu mišića (T_m) idu u prilog tome da je da bez obzira na postojanje statistički značajnih razlika, adekvatno tumačenje rezultata u smislu donošenja zaključka dovoljne informativnosti nije moguće. U skladu sa tim se **pomoćna hipoteza H_3** „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana povećati mišićnu temperaturu” **odbacuje**. Značajno smanjene T_m je primećeno kod tretmana od 30 sekundi i 60 sekundi, dok je kod tretmana od 30 sekundi značajna razlika izražena na nekoliko vremenskih nivoa. Potrebno je u budućim istraživanjima gde bi se primenio tretman u dužem trajanju od jednog minuta ispitati uticaj na promenu temperature uz upotrebu senzitivnijih mernih instrumenata.

Rezultati procentualnih razlika prikazanih na Grafikonu 4 pokazuju da jeste došlo do povećanja električne aktivnosti mišića u prvom testu nakon tretmana, ali statistički značajno samo kod tretmana od 30 sekundi, međutim dalja analiza izmerenih vrednosti kod ostalih tretmana pokazuje tendenciju opadanja vrednosti pEMG. U skladu sa tim se **pomoćna hipoteza H_4** „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana povećati električnu aktivnost mišića” **delimično prihvata**. Praktična implikacija ovakvog nalaza ide u prilog da je moguće kratkotrajno putem VFR tretmana poboljšati performanse električne aktivnosti tretiranih mišića.

Vreme potrebno za ostvarivanje maksimalne voljne mišićne jačine (tF_{max}) nije se značajno promenilo posredstvom uticaja VFR tretmana tako da se **pomoćna hipoteza H_5** „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana smanjiti vreme dostizanja maksimalne voljne izometrijske mišićne jačine” **odbacuje**. VFR tretman je bezbedna procedura za implementaciju u trenažni proces na određenom nivou, a gde je cilj trenažnog procesa održavajući efekat uticaja na mišićnu jačinu.

Analiza rezultata zavisne varijable Vreme potrebno za ostvarivanje maksimalne brzine voljnog razvoja mišićne jačine ($t_{RFD_{max}}$) pokazuje značajnu negativnu promenu, izraženiju kod tretmana od 15 sekundi, a manje izraženu kod tretmana od 30 sekundi. U skladu sa analiziranim rezultatima **pomoćna hipoteza H₆** koja glasi „Vibraciona samomasaža će bez obzira na dužinu tretmana smanjiti vreme dostizanja maksimalne brzine razvoja eksplozivne mišićne jačine” se **odbacuje**. U trenažnom procesu je potreban oprez od strane svih učesnika prilikom primene VFR tretmana kraćeg trajanja pri aktivnostima koje se mogu karakterisati kao brze i eksplozivne. Kraći tretman treba izbegavati s obzirom da su rezultati ovog istraživanja pokazali da prouzrokuje značajne negativne akutne efekte.

Koliko je poznato ovo je prvo istraživanje koje je poredilo različite dužine trajanja VFR tretmana i koje je došlo do takvih rezultata koji su prethodno predstavljeni. Primena VFR tretmana predstavlja novu tehniku u trenažnoj praksi. Ako se uzme u obzir činjenica da je upotreba VFR tretmana prisutna gde god da je fizička aktivnost prisutna, bez obzira da li se radi o amaterskom i profesionalnom sportu, rekreaciji ili rehabilitaciji, potencijalni značaj ovog istraživanja postaje očigledan. Naime, kako upotreba glavnih resursa pojedinca u smislu uloženog vremena i energije treba svrsishodno da bude usmerena na poboljšanje ili oporavak određenih sposobnosti posredstvom određenog tretmana, taj tretman pre svega treba da bude dovoljno bezbedan, a zatim u što većoj meri i efikasan kako se opravdanost tretmana ne bi dovodila u pitanje. Generalna preporuka na osnovu sublimiranih zaključaka dobijenih ovim istraživanjem može da glasi da za primenu u trenažnoj praksi u cilju pripreme za zagrevanje ili u sklopu zagrevanja VFR tretman kraćeg trajanja treba izbegavati. Nalazi ovog istraživanja pružiće istraživačima, trenerima i drugim specijalistima značajne pokazatelje na koji način i kada da u svojim programima putem ovog tretmana izvrše uticaj na neuro-mišićne funkcije donjih ekstremiteta.

11. LITERATURA

- Aboodarda, S. J., Spence, A. J., & Button, D. C. (2015). Pain pressure threshold of a muscle tender spot increases following local and non-local rolling massage. *BMC Musculoskelet Disord*, 16(265), 015-0729.
- Alonso-Calvete, A., Lorenzo-Martínez, M., Padrón-Cabo, A., Pérez-Ferreirós, A., Kalén, A., Abelairas-Gómez, C., et al. (2022). Does Vibration Foam Roller Influence Performance and Recovery? A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Open*, 8(1).
- Barrows, S. Foam Roller History and Practical Use, <https://www.otpbooks.com/stacy-barrows-foam-roller-primer/>
- Baumgart, C., Freiwald, J., Kühnemann, M., Hotfiel, T., Hüttel, M., & Hoppe, M. W. (2019). Foam Rolling of the Calf and Anterior Thigh: Biomechanical Loads and Acute Effects on Vertical Jump Height and Muscle Stiffness. *Sports*, 7(1).
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol*, 111(11), 2633-2651.
- Borisavljević, A., Ćosić, M., & Janković, G. (2021). How does vibration foam rolling massage affect plantar extensors muscle explosive strength properties? Pilot study. *SJSS*, 4, 87-99.
- Borisavljević, A., Ćosić, M., Janković, G., & Dopsaj, M. (2021). *Acute effects of 15-second self-administered vibration massage on plantar extensors' muscle strength properties in adult males: a pilot study*. Paper presented at the Fis Communications 2021.
- Borisavljević, A., Kukić, F., Janković, G., Ćosić, M., & Dopsaj, M. (2023). Acute effects of vibration foam rolling on the explosive strength properties of the plantarflexors during maximal isometric contraction. *IES*.
- Bradbury-Squires, D. J., Nofthall, J. C., Sullivan, K. M., Behm, D. G., Power, K. E., & Button, D. C. (2015). Roller-massager application to the quadriceps and knee-joint range of motion and neuromuscular efficiency during a lunge. *J Athl Train*, 50(2), 133-140.
- Cavanaugh, M. T., Aboodarda, S. J., Hodgson, D. D., & Behm, D. G. (2017). Foam Rolling of Quadriceps Decreases Biceps Femoris Activation. *J Strength Cond Res*, 31(8), 2238-2245.
- Cavanaugh, M. T., Döweling, A., Young, J. D., Quigley, P. J., Hodgson, D. D., Whitten, J. H. D., et al. (2017). An acute session of roller massage prolongs voluntary torque development and diminishes evoked pain. *Eur. J Appl. Physiol*, 117(1), 109-117.
- Chambers, A. J., & Cham, R. (2007). Slip-related muscle activation patterns in the stance leg during walking. *Gait Posture*, 25(4), 565-572.
- Cheatham, S. W., Kolber, M. J., Cain, M., & Lee, M. (2015). The Effects of Self-Myofascial Release Using a Foam Roll or Roller Massager on Joint Range of Motion, Muscle Recovery, and Performance: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther*, 10(6), 827-838.
- Cheatham, S. W., Stull, K. R., & Kolber, M. J. (2019). Comparison of a Vibration Roller and a Nonvibration Roller Intervention on Knee Range of Motion and Pressure Pain Threshold: A Randomized Controlled Trial. *J Sport Rehabil*, 28(1), 39-45.
- Chen, A.-H., Chiu, C.-H., Hsu, C.-H., Wang, I.-L., Chou, K.-M., Tsai, Y.-S., et al. (2021). Acute Effects of Vibration Foam Rolling Warm-Up on Jump and Flexibility Asymmetry, Agility and Frequency Speed of Kick Test Performance in Taekwondo Athletes. *Symmetry*, 13(9), 1664.
- Chuang, L. R., Yang, W. W., Chang, P. L., Chen, V. C., Liu, C., & Shiang, T. Y. (2021). Managing Vibration Training Safety by Using Knee Flexion Angle and Rating Perceived Exertion. *Sensors*, 21(4).
- de Souza, A., Sanchotene, C. G., Lopes, C., Beck, J. A., da Silva, A. C. K., Pereira, S. M., et al. (2019). Acute Effect of 2 Self-Myofascial Release Protocols on Hip and Ankle Range of Motion. *J Sport Rehabil*, 28(2), 159-164.

- Feldbauer, C. M., Smith, B. A., & Van Lunen, B. (2015). The Effects of Self-Myofascial Release on Flexibility of the Lower Extremity: A Critically Appraised Topic. *IJTT*, 20(2), 14-19.
- García-Gutiérrez, M. T., Guillén-Rogel, P., Cochrane, D. J., & Marín, P. J. (2018). Cross transfer acute effects of foam rolling with vibration on ankle dorsiflexion range of motion. *J Musculoskel Neuronal Interac*, 18(2), 262-267.
- Glänzel, M. H., Rodrigues, D. R., Petter, G. N., Pozzobon, D., Vaz, M. A., & Geremia, J. M. (2022). Foam Rolling Acute Effects on Myofascial Tissue Stiffness and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*, 10.1519/JSC.0000000000004385.
- Goats, G. C. (1994). Massage--the scientific basis of an ancient art: Part 1. The techniques. *Br J Sports Med*, 28(3), 149-152.
- Grabow, L., Young, J. D., Alcock, L. R., Quigley, P. J., Byrne, J. M., Granacher, U., et al. (2018). Higher Quadriceps Roller Massage Forces Do Not Amplify Range-of-Motion Increases nor Impair Strength and Jump Performance. *J Strength Cond Res*, 32(11), 3059-3069.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1998). *Multivariate Data Analysis* (5 ed.). Hoboken, NJ, USA: Prentice Hall Inc.
- Halperin, I., Aboodarda, S. J., Button, D. C., Andersen, L. L., & Behm, D. G. (2014). Roller massager improves range of motion of plantar flexor muscles without subsequent decreases in force parameters. *Int J Sports Phys Ther*, 9(1), 92-102.
- Harwood, B., Scherer, J., Brown, R. E., Cornett, K. M. D., Kenno, K. A., & Jakobi, J. M. (2017). Neuromuscular responses of the plantar flexors to whole-body vibration. *Scand J Med Sci Sports*, 27(12), 1569-1575.
- Healey, K. C., Hatfield, D. L., Blanpied, P., Dorfman, L. R., & Riebe, D. (2014). The effects of myofascial release with foam rolling on performance. *J Strength Cond Res*, 28(1), 61-68.
- Hermens, H., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*, 10, 361-374.
- Jevtić, M. (1999). *Fizikalna medicina i rehabilitacija*.
- Kelly, S., & Beardsley, C. (2016). Specific and Cross-over Effects of Foam Rolling on Ankle Dorsiflexion Range of Motion. *Int J Sports Phys Ther*, 11(4), 544-551.
- Kerschman-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V., et al. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clin Physiol*, 21(3), 377-382.
- Kim, M.-j., Lee, J.-h., & Ryu, J.-n. (2022). Acute Effects of Self-Myofascial Release Using Various Foam Rollers on Knee Extension Angles and Hamstring Muscle Tone in Subjects with Shortened Hamstrings: A Randomized Controlled Trial. *Korean J Neuromuscul Disord*, 12(3), 1-10.
- Klich, S., Smoter, M., Michalik, K., Bogdański, B., Valera Calero, J. A., Manuel Clemente, F., et al. (2022). Foam rolling and tissue flossing of the triceps surae muscle: an acute effect on Achilles tendon stiffness, jump height and sprint performance – a randomized controlled trial. *Res Sports Med*, 1-14.
- Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports*, 10(4), 261-265.
- Larson, R. (2014). Customizing the warm-up and cool-down. *High-performance training for sports*(Human Kinetics), 99-112.
- Lee, C. L., Chu, I. H., Lyu, B. J., Chang, W. D., & Chang, N. J. (2018). Comparison of vibration rolling, nonvibration rolling, and static stretching as a warm-up exercise on flexibility, joint proprioception, muscle strength, and balance in young adults. *J Sports Sci*, 36(22), 2575-2582.
- Luo, J., McNamara, B., & Moran, K. (2005). The Use of Vibration Training to Enhance Muscle Strength and Power. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35, 23-41.
- MacDonald, G. Z., Penney, M. D., Mullaley, M. E., Cuconato, A. L., Drake, C. D., Behm, D. G., et al. (2013). An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res*, 27(3), 812-821.
- Macgregor, L., Fairweather, M., Bennett, R., & Hunter, A. (2018). The Effect of Foam Rolling for Three Consecutive Days on Muscular Efficiency and Range of Motion. *Sports medicine - open*, 4(1), 26-26.

- Madoni, S. N., Costa, P. B., Coburn, J. W., & Galpin, A. J. (2018). Effects of foam rolling on range of motion, peak torque, muscle activation, and the hamstrings-to-quadriceps strength ratios. *J Strength Cond Res*, 32(7), 1821-1830.
- Majstorović, N., Dopsaj, M., Grbić, V., Savić, Z., Vićentijević, A., Aničić, Z., et al. (2020). Isometric Strength in Volleyball Players of Different Age: A Multidimensional Model. *Appl. Sci.*, 10(12), 4107.
- Majstorović, N., Nesić, G., Grbić, V., Savić, Z., Živković, M., Aničić, Z., et al. (2021). Reliability of a simple novel field test for the measurement of plantar flexor muscle strength. *Rev. Bras. Med. Esporte*, 27, 98-102.
- Martinez-Valdes, E., Negro, F., Falla, D., De Nunzio, A. M., & Farina, D. (2018). Surface electromyographic amplitude does not identify differences in neural drive to synergistic muscles. *J Appl Physiol*, 124(4), 1071-1079.
- Medeiros, F. V. A., Bottaro, M., Martins, W. R., Ribeiro, D. L. F., Marinho, E. B. A., Viana, R. B., et al. (2020). The effects of one session of roller massage on recovery from exercise-induced muscle damage: A randomized controlled trial. *J Exerc Sci Fit*, 18(3), 148-154.
- Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A., Milanovic, S., & Jaric, S. (2004). Muscle strength testing: evaluation of tests of explosive force production. *Eur J Appl Physiol*, 91(2-3), 147-154.
- Mohd Mukhtar Alam, Abid Ali Khan, & Farooq, M. (2021). Effects of vibratory massage therapy on grip strength, endurance time and forearm muscle performance. [Research article]. *Work*, 68(3), 619-632.
- Monteiro, E., Vigotsky, A., Škarabot, J., Brown, A., Fiuza, A., Matassoli Gomes, T., et al. (2017). Acute Effects of Different Foam Rolling Volumes in the Inter-Set Rest Period on Maximum Repetition Performance. *Hong Kong Physiother J*, 36, 57-62.
- Monteiro, E. R., & Neto, V. G. (2016). Effect of Different Foam Rolling Volumes on Knee Extension Fatigue. *Int J Sports Phys Ther*, 11(7), 1076-1081.
- Monteiro, E. R., Škarabot, J., Vigotsky, A. D., Brown, A. F., Gomes, T. M., & Novaes, J. D. (2017a). Acute Effects of Different Self-Massage Volumes on the Fms™ Overhead Deep Squat Performance. *Int J Sports Phys Ther*, 12(1), 94-104.
- Monteiro, E. R., Škarabot, J., Vigotsky, A. D., Brown, A. F., Gomes, T. M., & Novaes, J. D. (2017b). Maximum Repetition Performance after Different Antagonist Foam Rolling Volumes in the Inter-Set Rest Period. *Int J Sports Phys Ther*, 12(1), 76-84.
- Murray, A. M., Jones, T. W., Horobeanu, C., Turner, A. P., & Sproule, J. (2016). Sixty Seconds of Foam Rolling Does Not Affect Functional Flexibility or Change Muscle Temperature in Adolescent Athletes. *Int J Sports Phys Ther*, 11(5), 765-776.
- Nakamura, M., Kasahara, K., Yoshida, R., Murakami, Y., Koizumi, R., Sato, S., et al. (2022). Comparison of The Effect of High- and Low-Frequency Vibration Foam Rolling on The Quadriceps Muscle. *J Sports Sci Med*, 21(3), 376-382.
- Nakamura, M., Konrad, A., Kasahara, K., Yoshida, R., Murakami, Y., Sato, S., et al. (2022). The Combined Effect of Static Stretching and Foam Rolling With or Without Vibration on the Range of Motion, Muscle Performance, and Tissue Hardness of the Knee Extensor. *J Strength Cond Res*, 10.1519/JSC.0000000000004263.
- Nakamura, M., Konrad, A., Ryosuke, K., Sato, S., Yahata, K., Yoshida, R., et al. (2021). Sex Differences in the Mechanical and Neurophysiological Response to Roller Massage of the Plantar Flexors. *J Sports Sci Med*, 20(4), 665-671.
- Nakamura, M., Onuma, R., Kiyono, R., Yasaka, K., Sato, S., Yahata, K., et al. (2021). The Acute and Prolonged Effects of Different Durations of Foam Rolling on Range of Motion, Muscle Stiffness, and Muscle Strength. *J Sports Sci Med*, 20(1), 62-68.
- Nakamura, M., Sato, S., Kiyono, R., Yoshida, R., Murakami, Y., Yasaka, K., et al. (2021). Acute Effect of Vibration Roller With and Without Rolling on Various Parts of the Plantar Flexor Muscle. *Front Physiol*, 12(716668).
- Nakamura, M., Sato, S., Kiyono, R., Yoshida, R., Yasaka, K., Yahata, K., et al. (2021). Comparison Between Foam Rolling With and Without Vibration on Passive and Active Plantar Flexor Muscle Properties. *J Strength Cond Res*, 1(10), 0000000000004123.

- Nedvidek, B. (1986). *Osnovi fizikalne medicine i medicinske rehabilitacije*.
- Okamoto, T., Masuhara, M., & Ikuta, K. (2014). Acute effects of self-myofascial release using a foam roller on arterial function. *J Strength Cond Res*, 28(1), 69-73.
- Paolini, J. (2009). Review of Myofascial Release as an Effective Massage Therapy Technique. *Athl Ther Today*, 14, 30-34.
- Pellegrini, M. J., Lythgo, N. D., Morgan, D. L., & Galea, M. P. (2010). Voluntary activation of the ankle plantar flexors following whole-body vibration. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 927-934.
- Pérez-Bellmunt, A., Labata-Lezaun, N., Llurda-Almuzara, L., Rodríguez-Sanz, J., González-Rueda, V., Bueno-Gracia, E., et al. (2021). Effects of a Massage Protocol in Tensiomyographic and Myotonometric Properties. *IJERPH*, 18(8), 3891.
- Phillips, J., Diggin, D., King, D. L., & Sforzo, G. A. (2021). Effect of Varying Self-myofascial Release Duration on Subsequent Athletic Performance. *J Strength Cond Res*, 35(3), 746-753.
- Pijnappels, M., Bobbert, M. F., & van Dieën, J. H. (2006). EMG modulation in anticipation of a possible trip during walking in young and older adults. *J Electromyogr Kinesiol*, 16(2), 137-143.
- Ranatunga, K. W., Sharpe, B., & Turnbull, B. (1987). Contractions of a human skeletal muscle at different temperatures. *J Physiol*, 390, 383-395.
- Reiner, M. M., Glashüttner, C., Bernsteiner, D., Tilp, M., Guilhem, G., Morales-Artacho, A., et al. (2021). A comparison of foam rolling and vibration foam rolling on the quadriceps muscle function and mechanical properties. *Eur J Appl Physiol*, 121(5), 1461-1471.
- Ristanović, D., & Dačić, M. (2005). *Osnovi metodologije naučnoistraživačkog rada u medicini*. Beograd: Velarta.
- Santana, H. G., Lara, B., Canuto Almeida da Silva, F., Medina Eiras, P., Andrade Paz, G., Willardson, J. M., et al. (2021). Total Training Volume and Muscle Soreness Parameters Performing Agonist or Antagonist Foam Rolling between Sets. *Sports*, 9(5), 57.
- Schleip, R. (2003). Fascial plasticity - A new neurobiological explanation: Part 1. *J Bodyw Mov Ther*, 7, 11-19.
- Schleip, R., Duerksen, L., Vleeming, A., Naylor, I. L., Lehmann-Horn, F., Zorn, A., et al. (2012). Strain hardening of fascia: static stretching of dense fibrous connective tissues can induce a temporary stiffness increase accompanied by enhanced matrix hydration. *J Bodyw Mov Ther*, 16(1), 94-100.
- Schroeder, J., Wilke, J., & Hollander, K. (2021). Effects of Foam Rolling Duration on Tissue Stiffness and Perfusion: A Randomized Cross-Over Trial. *J Sports Sci Med*, 20(4), 626-634.
- Sefton, J. (2004). Myofascial Release for Athletic Trainers, Part I: Theory and Session Guidelines. *Athl Ther Today*, 9(1), 48-49.
- Silva, M. E., Nubi, V. M., Vaamonde, D., Fernandez, J., Garcia-Manso, J. M., & Ji, L. (2006). Effects of different frequencies of whole body vibration on muscular performance. *Biol. Sport*, 23, 124-132.
- Skinner, B., Moss, R., & Hammond, L. (2020). A systematic review and meta-analysis of the effects of foam rolling on range of motion, recovery and markers of athletic performance. *J Bodyw Mov Ther*, 24(3), 105-122.
- Souron, R., Zambelli, A., Espeit, L., Besson, T., Cochrane, D. J., & Lapole, T. (2019). Active versus local vibration warm-up effects on knee extensors stiffness and neuromuscular performance of healthy young males. *J Sci Med Sport*, 22(2), 206-211.
- Su, H., Chang, N. J., Wu, W. L., Guo, L. Y., & Chu, I. H. (2017). Acute Effects of Foam Rolling, Static Stretching, and Dynamic Stretching During Warm-ups on Muscular Flexibility and Strength in Young Adults. *J Sport Rehabil*, 26(6), 469-477.
- Torvinen, S., Kannu, P., Sievänen, H., Järvinen, T. A., Pasanen, M., Kontulainen, S., et al. (2002). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 22(2), 145-152.
- Torvinen, S., Sievänen, H., Järvinen, T. A., Pasanen, M., Kontulainen, S., & Kannus, P. (2002). Effect of 4-min vertical whole body vibration on muscle performance and body balance: a randomized cross-over study. *Int J Sports Med*, 23(5), 374-379.
- Walshe, A. D., & Wilson, G. J. (1997). The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can J Appl Physiol*, 22(2), 117-132.

- Wiewelhove, T., Döweling, A., Schneider, C., Hottenrott, L., Meyer, T., Kellmann, M., et al. (2019). A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Front Physiol*, *10*, 376.
- Yang, W. W., Chou, L. W., Chen, W. H., Shiang, T. Y., & Liu, C. (2017). Dual-frequency whole body vibration enhances vertical jumping and change-of-direction ability in rugby players. *J Sport Health Sci*, *6*(3), 346-351.
- Ye, X., Killen, B. S., Zelizney, K. L., Miller, W. M., & Jeon, S. (2019). Unilateral hamstring foam rolling does not impair strength but the rate of force development of the contralateral muscle. *PeerJ*, *29*(7).
- Young, J., Spence, A.-J., & Behm, D. (2018). Roller massage decreases spinal excitability to the soleus. *J. Appl. Physiol.*, *124*.

12. PRILOG

12.1. Bibliografija

- Borisavljević, A., Kukić, F., Ćosić, M., Janković, G., & Dopsaj, M. (2023). Acute effects of vibration foam rolling on the explosive strength properties of the plantarflexors during maximal isometric contraction. *IES*.
- Bubnjević, K., Macura, M., Jakovljević, A., Borisavljević A., & Đoković, N. (2022). Effect of aerobic exercise on frequency of vaginal birth: A meta-analysis. *Vojnosanit Pregl*, 79(1), 55-61.
- Borisavljević, A., Ćosić, M., Janković, G., & Dopsaj, M. (2021). Acute effects of 15-second self-administered vibration massage on plantar extensors' muscle strength properties in adult males: a pilot study. In Stojiljković, N. (Ed.) *Fis Communications 2021*, (pp.181-185). Faculty of sport and physical education, University of Niš, Niš, Serbia.
- Borisavljević, A., Ćosić, M., & Janković, G. (2021). How does vibration foam rolling massage affect plantar extensors muscle explosive strength properties? Pilot study. *Serb J Sports Sci*, 4, 87-99.
- Borisavljević, A., Prebeg, G., & Ćosić, M. (2021). The usage of foam roller in training practice – the preview of current trends [abstract]. In Stojiljković, S., Mandić, R., & Majstorović, N. (Eds.). *International scientific conference - Contemporary challenges in sport, physical exercising & active lifestyle*, (pp. 24). Faculty of sport and physical education, Belgrade, Serbia.
- Suzovic, D., Borisavljevic, A., & Jaric, S. (2018). Effect of countermovement depth at different groups on maximum jump height in vertical jumps [abstract]. *23rd annual ECSS Congress*. Dublin, Ireland.
- Ristic, S., Puzovic, V., Vukovic, M., & Borisavljevic, A. (2013). Differences in motor abilities between professional serbian hockey players and cross fit athletes. In Nedeljković, A. (Ed.). *International scientific conference - Effects of physical activity application to anthropological status with children, youth and adults*, (pp. 60). Faculty of sport and physical education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia.
- Puzovic, V., Ristic, S., Vukovic, M., & Borisavljevic, A. (2013). Motor abilities of children 12 and 13 years old before and after two weeks of hockey trainings during preparation period. In Nedeljković, A. (Ed.). *International scientific conference - Effects of physical activity application to anthropological status with children, youth and adults*, (pp. 62). Faculty of sport and physical education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia.

12.2. Biografija

Rođen je 01.05.1983. u Beogradu. Osnovnu školu i XII beogradsku gimnaziju „Dimitrije Tucović” završio je u Beogradu. Osnovne akademske studije, odsek sport, smer atletika na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu završio je 2009. godine sa prosečnom ocenom 9.03, odbranio diplomski rad sa ocenom 10 na temu „Teorija adaptacije u treningu atletičara” i stekao naziv diplomirani profesor sporta, a iste godine upisuje i master akademske studije na istom fakultetu koje završava 2012. godine sa prosečnom ocenom 9.78. Master rad na temu „Teorija adaptacije u sportskom treningu” odbranio je sa ocenom 10. Doktorske akademske studije upisuje 2012. godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja u Beogradu na programu Eksperimentalne metode istraživanja humane lokomocije. Trenirao je skijanje, tenis, košarku i slobodno penjanje. Atletiku je trenirao 10 godina u AK „Crvena Zvezda” iz Beograda, za koji je i nastupao u disciplinama sprinta. Tečno govori engleski i nemački jezik i bazični italijanski. Od 2007. godine radi kao kondicioni trener u različitim košarkaškim klubovima sa muškim seniorskim selekcijama, a od 2012. godine počinje da radi i sa ženskim selekcijama u ŽKK „Voždovac” koji se takmičio u Jadranskoj ligi. U 2013., 2014. i 2015. godini radi kao kondicioni trener mlađih ženskih košarkaških reprezentacija Srbije. Takođe, radio je i kao nastavnik fizičkog vaspitanja u osnovnoj školi. Član je Udruženja za pomoć mentalno nedovoljno razvijenim osobama „Novi Beograd” od 2012. godine. Od 2015. do 2020. godine predaje na strukovnim studijama na Sportskoj Akademiji Beograd. Jedan od osnivača Sportskog kluba „Athletic body response” 2015. godine u Beogradu koji uspešno funkcioniše i danas.

12.3. Potpisane izjave

Izjava o autorstvu

Ime i prezime Aleksandar Borisavljević

Broj indeksa 8-ds/2012

Izjavljujem,

Da je doktorska disertacija: *Akutni efekti primene vibracione samomasaže na ispoljavanje različitih karakteristika mišićne jačine*,

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni,
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, 30.03.2023.

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorske disertacije

Ime i prezime autora Aleksandar Borisavljević

Broj indeksa 8-ds/2012

Studijski program Doktorske akademske studije

Naslov rada *Akutni efekti primene vibracione samomasaže na ispoljavanje različitih karakteristika mišićne jačine*

Izjavljujem,

Da je štampana verzija moje doktorske disertacije istovetna elektronskoj verziji koju sam predao na CD-u radi pohranjivanja u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu. Dozvoljavam da se moji lični podaci koriste i objave vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada. Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 30.03.2023.

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković” da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom „AKUTNI EFEKTI PRIMENE VIBRACIONE SAMOMASAŽE NA ISPOLJAVANJE RAZLIČITIH KARAKTERISTIKA MIŠIĆNE JAČINE” koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje. Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci. Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave.)

Potpis autora _____

U Beogradu, ____/____/____

Acute effects of vibration foam rolling on the explosive strength properties of the plantarflexors during maximal isometric contraction

Aleksandar Borisavljević^{a,*}, Filip Kukić^b, Marko Ćosić^a, Goran Janković^a and Milivoj Dopsaj^a

^aFaculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

^bPolice Sports Education Centre, Abu Dhabi Police, Abu Dhabi, UAE

Received 16 November 2022

Accepted 7 March 2023

Abstract.

BACKGROUND: Foam roller with vibration is a recent development and its implementation has not yet been provided with a sufficient scientific justification. Information on whether an implementation of vibration foam rolling for self-massage before the powerful muscular activities is a good strategy is scarce.

OBJECTIVE: Therefore, the aim of this study was to determine the acute effects of a single 15-s and 60-s vibrating foam rolling treatment on muscle contractile properties during maximal voluntary isometric contraction (MVIC).

METHODS: Twenty healthy and recreationally active subjects participated in this study. During first visit, baseline characteristics were collected, while on the second and third visit they performed a 15-s and a 60-s vibration foam rolling treatment, respectively. Their maximal force (F_{max}) and rate of force development (RFD_{max}) were assessed using the MVIC of plantarflexors.

RESULTS: The RFD_{max} was negatively affected ($p \leq 0.05$) after the 15-s treatment and 60-s treatment, staying reduced even after 10-min of recovery. No significant effects were observed for F_{max} .

CONCLUSIONS: When implementing vibration foam rolling, either as a pre-workout activity or as a pre-competition treatment, caution should be taken. Short duration treatment should be avoided for activities where RFD_{max} has a significant impact on performance.

Keywords: Self-myofascial release, warm-up, muscle contractile properties

1. Introduction

Foam rolling treatment has become widespread in the last decade among professional athletes. Foam roller is a tool for self-massage (self-myofascial release) where an athlete applies a direct mechanical pressure to a muscle tissue using his or her own body weight to roll a

specific muscle over a foam roller. The applied mechanical pressure results in myofascial release, which helps relieve muscle tightness, soreness, and inflammation, all of which could improve performance [1]. As a connective tissue fascia moves in a thixotropic fashion where the more it is moved the softer and malleable it becomes [2]. Muscular fascia has been found to address mobility of the muscle, cellular circulation and elasticity of the muscle so it is vital that the fascia is loose and malleable [3]. Foam rolling has allowed athletes and individuals to achieve a way of increasing the mobility of the fascia to gain the possible benefits it may have on

* Corresponding author: Aleksandar Borisavljević, Faculty of Sport and Physical Education, University of Belgrade, Zvečanska 14, Belgrade, Serbia. Tel.: +381 63 8225833; E-mail: albor@sbh.rs