

UTJECAJ NAPREDNE METODE VJEŽBANJA OPADAJUĆE SERIJE NA HIPERTROFIJU MIŠIĆA

Žganjer, Kristian

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:040500>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskoga naziva: magistar kineziologije u edukaciji i kineziterapija)

Kristian Žganjer

**UTJECAJ NAPREDNE METODE VJEŽBANJA
„OPADAJUĆE SERIJE“ NA HIPERTROFIJU
MIŠIĆA**

diplomski rad

Mentor:

Doc. dr. sc. Saša Vuk

Zagreb, srpanj 2022.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

upisati titulu, ime i prezime

Student:

upisati ime i prezime

UTJECAJ NAPREDNE METODE VJEŽBANJA „OPADAJUĆE SERIJE“ NA HIPERTROFIJU MIŠIĆA

SAŽETAK

Metoda *opadajućih serija* (eng. *Drop Sets* - DS) napredna je metoda vježbanja čija je primjena raširena među rekreativnim vježbačima i profesionalnim sportašima s ciljem postizanja dodatnoga razvoja mišićne hipertrofije i/ili jakosti. Cilj je ovoga istraživanja bio istražiti utjecaj DS metode na regionalni hipertrofijski razvoj mišića *m. quadriceps femoris* te usporediti njezine efekte s tradicionalnim načinom rada (TS). U ovom istraživanju korišten je randomizirani eksperimentalni nacrt unutar ispitanika. Uzorak se sastojao od 24 ispitanika ($19,21 \pm 1,10$ godina; $183,13 \pm 5,55$ cm; $78,50 \pm 7,11$ kg). I jednoj i drugoj nozi svakoga ispitanika slučajnom raspodjelom dodijeljen je jedan od dva uvjeta: 1) DS – eksperimentalni uvjet ili 2) TS – kontrolni uvjet. Ispitanici su tri puta tjedno izvodili vježbu jednonožnog opuštanja potkoljenice na trenažeru sjedeći. Ukupni radni volumen svaki tjedan progresivno se povećavao do zadnjega tjedna kada je volumen smanjen za pola. Regionalna debljina mišića analizirana je prije početka i nakon završetka trenažnog procesa. Obje su skupine povećale debljinu mišića kod *m. rectus femoris* (RF) (DS: +33%; TS: +15,7%) i *m. vastus lateralis* (VL) (DS: +20,8%; TS: +19,7%) uspoređujući mjerenja prije i poslije trenažne intervencije. DS metoda pokazala je statistički značajno veće promjene u 30% i 50% duljine RF, međutim nisu pronađene značajne razlike na 70% duljine RF kao ni na jednoj izmjerenoj točki VL u odnosu na efekte TS. Primjena DS metode vježbanja u kvalitetno programiranom trenažnom programu može biti od praktične primjene u obliku poboljšanja regionalne (neuniformne) mišićne hipertrofije u mišiću RF nakon prakticiranja sjedećih nožnih ekstenzija. No, kada je riječ o mišiću VL, DS metoda nije pokazala značajniju dobrobit u odnosu na TS metodu.

Ključne riječi: debljina mišića, trening s otporom, mišićna adaptacija, volumen opterećenja, regionalni mišićni razvoj

EFFECTS OF DROP SET METHOD ON MUSCLE HYPERTROPHY

SUMMARY

Drop – set (DS) is an advanced training method widely used by recreational trainees and professional athletes with the goal of achieving additional hypertrophy or strength gains. The purpose of this study was to investigate DS influence on regional hypertrophic development of muscle *m. quadriceps femoris* and to compare these hypertrophic adaptations with those caused by traditional training method (TS). Design used in this study was a randomized controlled trial within-subject. There were 24 subjects ($19,21 \pm 1,10$ age; $183,13 \pm 5,55$ cm; $78,50 \pm 7,11$ kg) who had one leg assigned to a DS condition or experimental condition (participants did 3 – 8 repetitions using 89% of 1 RM as a load) and another leg to TS condition or controlled group in which participants did 13 – 18 repetitions using 69% of 1 RM as training intensity. Participants have been training 3 times a week doing only unilateral seated leg extensions. Following principle of progressive overload, total training volume has been increasing every week till the last one when it was cut in half. Regional muscle thickness was measured before and after training period. Both conditions increased muscle thickness in muscles *m. rectus femoris* (RF) (DS: +33%; TS: +15,7%) and in *m. vastus lateralis* (VL) (DS: +20,8%; TS: +19,7%) from pre- to post-training intervention. Statistically greater increases have been found at 30% and 50% of RF length favouring DS condition, but no differences were detected at 70% length or at any measured point along VL length. DS method, if properly integrated in training programme, can have practical benefits in terms of producing non-uniform hypertrophy response in RF muscle after practicing leg extensions. But unfortunately, these advantages were not spotted regarding to VL muscle compared to TS.

Key words: muscle thickness, resistance training, muscle adaptations, training volume, non-uniform muscle development

SADRŽAJ

1. UVOD	6
2. CILJ I HIPOTEZE	10
3. METODE ISTRAŽIVANJA.....	10
3.1. Eksperimentalni nacrt.....	10
3.2. Uzorak ispitanika.....	11
3.3. Protokol mjerenja.....	13
3.3.1. Debljina mišića.....	13
3.4. Procjena 1 RM-a.....	15
3.5. Programirani trenažni proces	16
3.6. Radni volumen opterećenja.....	16
3.7. Način rada u metodi <i>opadajućih serija</i>	17
3.8. Način rada tradicionalnom metodom	18
3.9. Statistička analiza podataka.....	18
4. REZULTATI.....	19
4.1. Debljina mišića – hipertrofijske adaptacije	19
5. RASPRAVA	23
5.1. Hipertrofijske adaptacije	23
5.2. Trenažni volumen	25
6. ZAKLJUČAK	27
7. LITERATURA.....	28

1. UVOD

Tjelesna aktivnost danas predstavlja nezaobilazan i ključan pojam kada je u pitanju čovjekovo zdravlje. Definira se kao svaki tjelesni pokret koji je rezultat aktivacije skeletnih mišića, koja za posljedicu ima potrošnju energije. Ukoliko se ta tjelesna aktivnost planira, strukturira, organizirano ponavlja i izvodi sa svrhom unaprjeđenja ili održavanja jedne ili više komponenata tjelesnoga fitnesa – ona postaje vježbanje (Caspersen i sur., 1974). Jedan od oblika vježbanja je i trening s otporom koji je dominantno usmjeren na razvoj ili održavanje mišićne mase, jakosti i mišićne izdržljivosti (Kraemer & Ratamess, 2004). Takva vrsta treninga koristi se u velikom opsegu u profesionalnom sportu. Naime, hipertrofija je primarna adaptacija treninga s otporom te je u direktnoj korelaciji s jakosti. S obzirom na navedeno, svi sportaši imaju dobrobiti od takvoga treninga, a pogotovo sportaši kojima snaga i jakost predstavljaju ključnu motoričku sposobnost u ostvarivanju uspjeha kao što su linijski igrači u američkom nogometu, većina atletičara u disciplini bacanja (kugla, kladivo...), obarači ruku te naravno *bodybuilderi* kojima je glavni cilj razvoj mišićne mase (B. Schoenfeld, 2011). Također, trening s otporom povećava mineralnu gustoću kostiju te time pozitivno utječe na prevenciju osteopenije i osteoporoze (Almstedt i sur., 2011; Duplanty i sur., 2018; Mathis & Caputo, 2017; Mosti i sur., 2014). Usporava proces sarkopenije čime se produljuje i povećava razina kvalitete života tijekom starenja (Elisabeth Willems i sur., 2022). Zbog navedenih kroničnih adaptacija prevenira učestalost i ozbiljne posljedice padova koji su učestala pojava u starijih (Claudino i sur., 2021).

Važno je istaknuti da je u ovom radu riječ o mišićnoj hipertrofiji koja je potaknuta vježbanjem. Mišićna hipertrofija definira se kao povećanje ukupne mase mišića (E. Hall & E. Hall, 2021). Proces hipertrofije temelji se na povećanju kontraktilnih elemenata te širenju ekstracelularnog matriksa čija je uloga podržati rast stanica (B. J. Schoenfeld, 2010).

Razlikuju se dvije vrste mišićne hipertrofije. Sarkoplazmatska hipertrofija podrazumijeva povećanje nekontraktilnih elemenata poput sarkoplazmatske tekućine, prostora za pohranjivanje glikogena, kolagena, organela, enzima i sl. bez popratnoga povećanja jakosti. Miofibrilarna hipertrofija odnosi se na povećanje miofibrila ili mišićnih vlakana na temelju stvaranja sarkomera koje su dodane paralelno u mišićnom vlaknu (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022).

U literaturi se spominju tri glavna faktora koji su odgovorni za postizanje hipertrofijskog odgovora: mehanička napetost, mišićno oštećenje i metabolički stres (B. J. Schoenfeld, 2010).

Mehanička napetost smatra se ključnim faktorom u postizanju mišićne adaptacije. Ona je posljedica generiranja mišićne sile ili istezanja mišića. Vjeruje se da tako stvorena tenzija narušava integritet stanice skeletnog mišića te time uzrokuje mehaničke i kemijske promjene na molekularnoj i staničnoj razini u mišićnom vlaknu te u djelovanju satelitskih stanica. Navedene promjene onda rezultiraju ubrzanom sintezom proteina koja vodi do mišićnoga rasta (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022).

Mišićno oštećenje kao lokalizirano tkivno oštećenje nastaje kao posljedica treninga s otporom te se smatra da, u određenim uvjetima, generira hipertrofijski odgovor. Takvo oštećenje može se pojaviti samo na razini nekoliko makromolekula tkiva ili obuhvatiti dijelove većih struktura poput sarkoleme, bazalne lamine, veznog tkiva, kontraktilnih elemenata ili citoskeleta. Fiziološki odgovor na takvu traumu može se usporediti s akutnom upalnom reakcijom na infekciju. Vjeruje se da upravo taj fiziološki odgovor, koji uključuje mnoge imunološke stanice i njihova djelovanja te koji otpušta razne faktore rasta, utječe na regulaciju satelitskih stanica te njihovu proliferaciju i diferencijaciju koje igraju veliku ulogu u mišićnom rastu (B. J. Schoenfeld, 2010).

Metabolički stres u mišiću javlja se kao rezultat anaerobnog metabolizma te akumulacije metabolita kao nusprodukta. Riječ je o metabolitima poput laktata, vodikovih iona, anorganskih fosfata, kreatina i sl. Više studija podržava anaboličku ulogu metaboličkog stresa uzrokovanoga vježbanjem te neke od njih pretpostavljaju da spomenuta akumulacija metabolita predstavlja čak važniju komponentu od razvoja velike mišićne sile u optimiziranju hipertrofijske reakcije. Pokazano je kako i mišićna ishemija rezultira znatnim metaboličkim stresom te potencijalno izaziva dodatni hipertrofijski efekt u kombinaciji s glikolitičkim treningom (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022).

S obzirom na to da je pokazano kako se napredak usporava proporcionalno sa stupnjem treniranosti, vježbači neprestano traže nove, naprednije metode vježbanja kako bi ostvarili nove kronične adaptacije (Howe & Waldron, 2017). Takve metode temelje se na manipulaciji trenažnih varijabli poput intenziteta, ekstenziteta, ukupnoga volumena opterećenja i sl. (Kraemer & Ratamess, 2004). Tako se doprinosi daljnjem razvoju ciljanih sposobnosti i pozitivno utječe na motivaciju. Osim toga smanjuje se monotonija koja proizlazi iz dugogodišnjeg treninga i velikog broja isprobanih i korištenih metoda te ostvaruju uvjeti za ponovne uspješne adaptacije. Mnoge takve metode opisane su u znanstvenoj literaturi, a i već dobro poznate među vježbačima pa se tako spominju: „*drop-set*“ (metoda *opadajućih serija*),

„super-set“, „forced repetitions“, „cluster-set“ i sl. (Howe & Waldron, 2017; B. Schoenfeld, 2011).

Drop-set (DS) ili metoda *opadajućih serija* vrlo je česta i raširena metoda vježbanja. Izvodi se tako da se, nakon prvoga postignutog trenutnog mišićnog otkaza, smanji intenzitet opterećenja za određeni postotak te se nastavlja dalje do sljedećega trenutka mišićnoga otkaza, odnosno nemogućnosti nastavka rada. Najčešće je riječ o 2–3 takva smanjivanja intenziteta i nastavka rada (B. Schoenfeld, 2011). Trenutni mišićni otkaz definira se kao trenutak u kojem mišić više ne može proizvoditi silu dovoljnu da bi se kontroliralo opterećenje kojim je započela radna trenažna serija (Willardson, 2007).

Pretpostavlja se da bi treniranje do mišićnog otkaza s većim opterećenjem aktiviralo veći broj motoričkih jedinica (Willardson, 2007). Pokazalo se da veća doza mišićnog zamora koji nastaje kod treniranja do otkaza također utječe na sniženje granica za aktivaciju velikih motoričkih jedinica što znači da će se, u slučaju znatnog umora, veće motoričke jedinice aktivirati čak i pri nižim intenzitetima (Adam & de Luca, 2003). To ide u prilog DS metodi jer će velike motoričke jedinice biti aktivirane i nakon što vježbač smanji opterećenje za određeni postotak. Budući da se ovom metodom produljuje vrijeme rada mišića pod napetošću (eng. *Time Under Tension* – TUT), nastaviti će se podizati razina mišićnog zamora.

Prema Adams & Bamman (2012) aktivacija velikih motoričkih jedinica pod adekvatnim i dovoljno stimulativnim intenzitetom ne samo da bi mogla utjecati na hipertrofijske adaptacije mišićnih vlakana tipa II već bi mogla biti i znatnija zbog produljenog vremena pod opterećenjem. Produljeno vrijeme pod opterećenjem pokazalo je akutni porast u sintezi proteina koja je prisutna čak i 24-30 sati nakon treninga s otporima izazivajući reakcije na staničnoj razini koje promoviraju daljnji rast (Burd i sur., 2012). Također, u većem se omjeru kao posljedica dodatno aktiviraju mehanizmi zaslužni za mišićnu hipertrofiju: mehanički i metabolički stres (B. Schoenfeld, 2011). Istraživanja pokazuju pozitivan utjecaj treninga s otporima na anabolizam (Damas i sur., 2015). Metabolički stres stvara pozitivno anaboličko okruženje za porast akumulacije metabolita (laktata [La], vodikovih iona [H⁺], anorganskih fosfata [Pi]), a pokazalo se da navedeno može prouzrokovati akutnu hipoksiju i otečenost mišićnih stanica, proizvodnju reaktivnih kisikovih vrsta (ROS) te podignutu razinu pojedinih hormona u tijelu što je posebno vidljivo pri visoko intenzivnim naporima (B. J. Schoenfeld, 2013; Tesch i sur., 1986). Osim toga, novi pregledni članak i meta-analiza idu u prilog treningu do mišićnog otkaza pokazujući veće hipertrofijske promjene u odnosu na trening koji ne vodi do mišićnog otkaza (Vieira i sur., 2021).

Objavljeno je tek nekoliko studija koje su istraživale utjecaj metode *opadajućih serija* na mišićni rast. Većina njih prikazala je određeni porast u mišićnoj hipertrofiji, ali bez statistički značajnih razlika između grupa ili uvjeta (Angleri i sur., 2017; Fisher i sur., 2015; Ozaki i sur., 2018). Fink i sur. (2018) proveli su istraživanje u trajanju od 6 tjedana na uzorku netreniranih ispitanika koji su izvodili opuštanje podlaktica na trenažeru. Rezultati su pokazali čak dvostruko veći porast u grupi koja je izvodila DS metodu nasuprot tradicionalnoj (TS) metodi ($10,0 \pm 3,7\%$ za DS; $5,1 \pm 2,1\%$ za TS) pa možemo zaključiti kako DS metoda potencijalno ima prednost u odnosu na tradicionalnu TS metodu ako je cilj povećanje mišićne hipertrofije.

U istraživanju Gota i sur. (2004) ispitanici su nakon šest tjedana „hipertrofijske faze“, u kojoj su trenirali samo dva puta tjedno izvodeći dvije vježbe za donje ekstremitete po 3 radne serije, podijeljeni u dvije zasebne grupe – HC (eng. *Hipertrophy-Combi*) i HS (eng. *Hypertrophy/Strength*). HC grupa je u narednih četiri tjedna nakon tri radne serije izvela još jednu dodatnu koristeći DS metodu, dok je HS grupa konstantno izvodila pet radnih serija sa 90% od 1 RM-a. Rezultati pokazuju da nakon prvih šest tjedana nije postojala statistički značajna razlika ni u jednoj mjerenoj varijabli, ali jest nakon dodatnih četiri u slučaju HC grupe. Međutim, jedan od limita spomenute studije jest što autori nisu kontrolirali ukupni radni volumen koji je bio veći u slučaju HC grupe te je on mogao biti jedan od potencijalnih uzroka većega zabilježenog porasta hipertrofije.

Dosadašnje su studije o utjecaju DS metode imale različite eksperimentalne nacрте. Neki od dodatnih nedostataka bili su nejednaki trenažni volumen te različite metode za evaluaciju mišićne hipertrofije (Fisher i sur., 2015; Goto i sur., 2004). Također, studije se razlikuju po stupnjevima treniranosti uzoraka te je potreban dodatan broj istraživanja koji u uzorku koriste oba kraja tog spektra (netrenirani i vrlo trenirani vježbači) s ciljem donošenja konkretnijih zaključaka o utjecaju DS metode ovisno o stupnju treniranosti.

Studije koje su istraživale utjecaj DS metode na hipertrofiju mišića uglavnom su proučavale manje mišićne skupine. Jedna je studija prethodno uspoređivala utjecaje DS i tradicionalne metode na većim mišićnim skupinama (Angleri i sur., 2017). Međutim, autori su mjerili poprečni presjek mišića na samo jednom mjestu *m. vastus lateralis* čime je smanjen uvid u adaptacijske promjene duž cijeloga mišića jer je *m. quadriceps femoris* skupina velikih mišića koja je podložna neuniformnom razvoju (M. v Narici i sur., 1989). Stoga bi bilo bolje porast mišića mjeriti uzduž mišića.

U objavljenom preglednom radu (Krzysztofik i sur., 2019) analizirane su najčešće korištene trenažne metode, uključujući i DS metodu, te je zaključeno kako ne uzrokuje veću razinu mišićne hipertrofije u usporedbi s tradicionalnom metodom u slučaju kada je trenažni volumen izjednačen. Međutim, još uvijek nije utvrđeno na koji način spomenuta DS metoda utječe na regionalne mišićne adaptacije u odnosu na TS metodu.

2. CILJ I HIPOTEZE

Cilj rada je utvrditi regionalne razlike u hipertrofiji mišića kvadricepsa na uzorku muških netreniranih tjelesno aktivnih ispitanika uspoređujući pritom utjecaj metode *opadajućih serija* i utjecaj tradicionalne metode vježbanja pod uvjetom da je trenažni volumen izjednačen u obje metode.

Alternativne hipoteze glase:

1. Metoda *opadajućih serija* izazvat će veće hipertrofijske promjene mišića kvadricepsa u odnosu na tradicionalnu metodu vježbanja.
2. Metoda *opadajućih serija* izazvat će veće regionalne hipertrofijske promjene mišića kvadricepsa u odnosu na tradicionalnu metodu vježbanja.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Eksperimentalni nacrt

U ovom se istraživanju koristio randomizirani eksperimentalni nacrt unutar ispitanika. Nakon provedenoga inicijalnog mjerenja, ispitanici su se uključili u trenažni proces u trajanju od osam tjedana u kojem su svaki tjedan provodili tri treninga. Izvodili su vježbu unilateralnog opružanja natkoljenice na trenažeru sjedeći. Svakoj nozi ispitanika bio je dodijeljen jedan uvjet slučajnim odabirom: metoda *opadajućih serija* koja je predstavljala eksperimentalni uvjet ili tradicionalna metoda rada kao kontrolni uvjet. Nakon provedenoga trenažnog procesa provelo se finalno mjerenje u jednakim uvjetima kao i tijekom inicijalnoga.

3.2. Uzorak ispitanika

Uz objavljeni javni poziv o provedbi istraživanja na oglasnoj ploči fakulteta voditelji istraživanja održali su i usmene prezentacije studentima o tematici i ciljevima istraživanja. Odazvalo se 35 studenata.

Nakon inicijalnoga sastanka o detaljima i dodatnim kriterijima petorica ispitanika nije zadovoljila postavljene uvjete, a šestorica su odustala zbog osobnih razloga.

A priori analizom u G*Power programu (Njemačka, Düsseldorf, verzija 3.1.9.7) na temelju minimalne, praktično značajne standardizirane veličine učinka (ES) = 0.40 za varijablu debljine mišića *m. vastus lateralis*, uz $p = 0.05$ te statističku snagu = 0.80 (Lasevicius i sur., 2019) dobivena je potrebna veličina uzorka od 15 ispitanika.

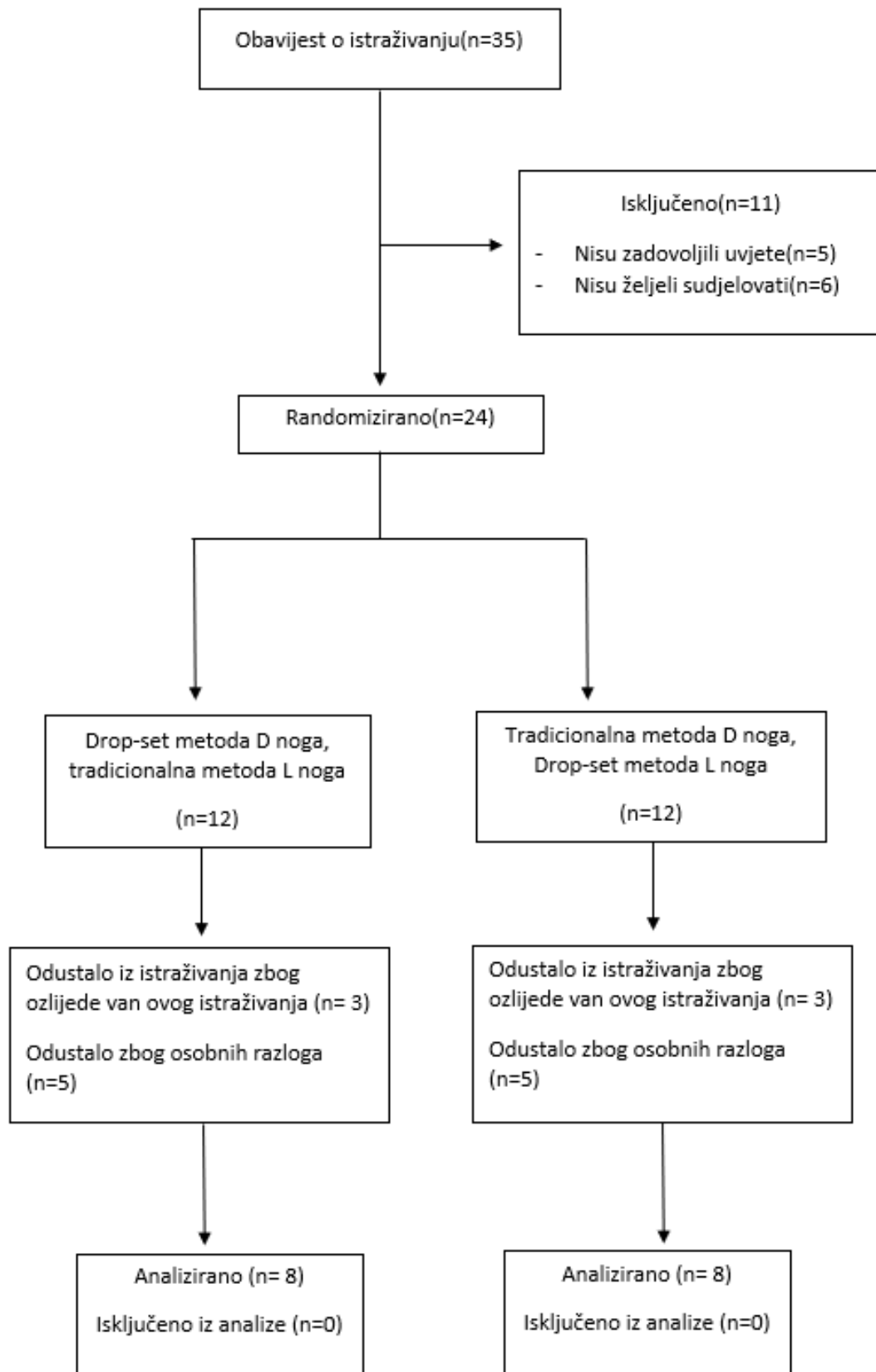
Uzorak se sastojao od 24 ispitanika (dob: $19,21 \pm 1,10$ godine; visina: $183,13 \pm 5,55$ cm; tjelesna masa: $78,50 \pm 7,11$ kg) zdravih i tjelesno aktivnih studenata prve godine integriranoga preddiplomskog i diplomskog sveučilišnog studija kineziologije Sveučilišta u Zagrebu.

Osmero ispitanika nije moglo nastaviti istraživanje. Petero ih je odustalo zbog osobnih razloga (nevezanih za istraživanje) dok su trojica ispitanika odustala zbog ozljeda dobivenih izvan istraživanja. Dakle, ukupan broj ispitanika koji su završili istraživanje iznosio je 16. Svi ispitanici koji su završili istraživanje bili su prisutni na više od 90% treninga.

Uvjeti za sudjelovanje bili su kratko iskustvo (šest mj. do godinu dana) u treningu s otporima te nepostojanje ozljede donjih ekstremiteta. Također, ispitanici nisu smjeli biti uključeni u ostale sportske aktivnosti (koje nisu dio obveznoga studijskog programa) te vježbanje koje primarno uključuje trening s otporom za vrijeme provedbe istraživanja. Prehrambene navike morale su biti jednake kao i prije početka istraživanja. Osim toga, kako bi podaci ispitanika bili uključeni u obradu, ispitanik je morao sudjelovati na minimalno 90% provedenih treninga što je ekvivalent od maksimalno dva izostanka tijekom istraživanja.

Svakoj nozi ispitanika slučajnim odabirom dodijeljen je jedan od dva uvjeta: metoda *opadajućih serija* ili tradicionalna metoda vježbanja.

Istraživanje je odobrilo Etičko povjerenstvo Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a provedeno je u skladu s Helsinškom deklaracijom. Ispitanici su bili obaviješteni o potencijalnim rizicima i dobrobitima istraživanja te potpisali informirani pristanak prije početka istraživanja.



Slika 1. – CONSORT Dijagram - prikazuje protok ispitanika kroz različite stadije istraživanja (broj prijavljenih ispitanika, raspodjela u grupe, osipanje uzorka, analiza).

3.3. Protokol mjerenja

3.3.1. Debljina mišića

Hipertrofijska adaptacija promatrala se kao promjena u debljini mišića. Veličina debljine mišića izražena je u milimetrima, a mjerila se dijagnostičkim ultrazvučnim uređajem (Siemens, SONOLINE G-40) (Sabatino i sur., 2022; Zhao i sur., 2022). Debljina mišića mjerila se u mišiću *m. quadriceps femoris* (QF) specifično *m. rectus femoris* (RF) i *m. vastus lateralis* (VL). Cilj je bio utvrditi regionalne razlike hipertrofijske adaptacije u mišiću, stoga se mjerenje provodilo na tri različite točke duž spomenutih mišića: 30%, 50% i 70% ukupne duljine. S obzirom na navedeno prije početka ultrazvučnoga mjerenja, mjernom vrpcom izmjerena je duljina RF koju je predstavljala udaljenost od *spine iliace anterior superior* do gornjega ruba ivera (Galindo Martín i sur., 2017; Massey i sur., 2015). Duljina VL određena je kao izmjerena udaljenost od *trochanter major* do gornjega ruba ivera. Dobivene mjere upotrijebljene su kako bi se označile spomenute točke mjerenja na nogama ispitanika. Nadalje, tijekom ultrazvučnoga mjerenja ispitanici su ležali na leđima te imali pogrčenu nogu u koljenu pod kutom od deset stupnjeva. Mjerenje se uvijek izvodilo prvo na lijevoj nozi na mišiću RF, počevši proksimalno s točkom na 30% ukupne duljine mišića prema daljnjim točkama distalno, a zatim na isti način na mišiću VL. Nakon izmjerenih točaka lijeve noge spomenutim redoslijedom slijedila je desna noga. Za mjerenje se koristila linearna sonda (10 – 5 MHz) koja se postavljala okomito na mišić te uzdužno uz smjer pružanja mišićnih vlakana. Bilo je nužno postavljati sondu na kožu vrlo pažljivo, s minimalnim pritiskom koji bi rezultirao optimalnom ultrazvučnom slikom, ali ne bi mehanički utjecao na tkivo i točnost kasnije očitanih podataka. Tome doprinosi i gel koji se nanosi na sondu, a čija je funkcija bolja provodljivost ultrazvučnih valova što rezultira boljom snimkom bez potrebe jakog kontakta sonde na kožu. U trenutku kad se slika činila najčišća i najkvalitetnija, spremila se na računalo ultrazvuka radi naknadne analize. Za svaku točku mjerenja spremale su se dvije snimke. Rezultat koji je ulazio u finalnu statističku obradu podataka predstavljao je aritmetičku sredinu izmjerenih vrijednosti dviju spomenutih snimki za svaku točku mjerenja. Vrijednost debljine mišića predstavljala je udaljenost od donjega ruba gornje mišićne aponeuroze do gornjega ruba donje mišićne aponeuroze (Slika 2. i 3.) (Matta i sur., 2015; Reeves i sur., 2009).

Mjerenje se provodilo inicijalno, prije početka trenažnog procesa te finalno, nakon provedenoga trenažnog procesa, s ciljem uočavanja razlike debljine mišića kao posljedica hipertrofijske adaptacije. Akutni odgovor treninga može uključivati oticanje mišićnog tkiva te time značajno utjecati na dobivene rezultate ultrazvučnim mjerenjem. Iz tog razloga ispitanicima nije bilo

dopušteno sudjelovati u bilo kakvom treningu 48 – 72 h prije mjerenja (Hirono i sur., 2020; Mayans i sur., 2012; Ogasawara i sur., 2012).



Slika 2. Detaljni prikaz mjerenja debljine mišića RF na ultrazvučnom slikovnom zapisu.

Legenda: DGA = donji rub gornje mišićne aponeuroze; MDRF = debljina mišića *m. rectus femoris*; GDA = gornji rub donje mišićne aponeuroze



Slika 3. Detaljni prikaz mjerenja debljine mišića VL na ultrazvučnom slikovnom zapisu.

Legenda: DGA = donji rub gornje mišićne aponeuroze; MDVL = debljina mišića *m. vastus lateralis*; GDA = gornji rub donje mišićne aponeuroze

3.4. Procjena 1 RM-a

Potreba za procjenjivanjem, a ne mjerenjem 1 RM-a, javila se radi prevencije ozljeda, uzevši u obzir specifičnost vježbe na kojoj se provodilo istraživanje i mjerenje te smanjivanje mogućnosti većih upalnih procesa uzrokovanih samim mjerenjem (Materko & Santos, 2009). Prije početka testiranja ispitanici su bili uključeni u standardizirano dinamičko zagrijavanje u trajanju od tri minute koje je uključivalo trčanje niskoga intenziteta s različitim motoričkim zadacima, istezanje muskulature donjih ekstremiteta te 12 do 15 čučnjeva bez dodatnoga vanjskog otpora. Za procjenu 1 maksimalnog ponavljanja (1 RM; lat. *repetitio maximum*) koristila se Brzyckieva jednadžba (Brzycki, 1993) koja se pokazala vrlo pouzdanom koristeći broj ponavljanja izvedenih sa submaksimalnim opterećenjima i to specifično onima s kojima vježbač može izvesti pet ponavljanja ili tzv. 5 RM (Amarante do Nascimento i sur., 2007; Distasio, 2014; Nasarudin i sur., 2020). Nakon procjene 1 RM-a svakoga ispitanika izračunala se vrijednost 5 RM-a kao 89% od 1 RM-a i 15 RM kao 67% od 1 RM-a.

3.5. Programirani trenažni proces

Ispitanici su bili podvrgnuti programiranom trenažnom procesu u trajanju od osam tjedana uključujući tri treninga tjedno. Proces je bio strukturiran periodično prateći značajke linearne periodizacije. To je podrazumijevalo progresivno povećanje intenziteta i ekstenziteta rada, a time i ukupnoga volumena opterećenja s ciljem osiguravanja pojave hipertrofijske adaptacije (Baz-Valle i sur., 2022; Geantă & Ardelean, 2021; B. J. Schoenfeld i sur., 2017). Svakom treningu prethodilo je zagrijavanje u trajanju od pet minuta, a uključivalo je trčanje niskim intenzitetom s različitim motoričkim zadacima, istezanje miškulature trupa i donjih ekstremiteta, deset čučnjeva bez dodatnoga vanjskog otpora i dvije serije opružanja potkoljenica na trenažeru sjedeći po osam do deset ponavljanja intenzitetom 50% od 1 RM-a (B. J. Schoenfeld i sur., 2019). Prije početka trenažnog razdoblja ispitanicima su dodijeljeni uvjeti za obje noge – TS i DS. No, u svakom treningu započeli su trening s drugom nogom, odnosno drugom metodom. Serije obje metode izvodili su jednu za drugom. Tempo izvođenja vježbe bio je umjeren te je vrijeme koncentrične mišićne akcije trajalo upola manje od trajanja ekscentrične mišićne akcije (koncentrična : ekscentrična – 1 : 2). Odmor između serija iznosio je dvije minute.

3.6. Radni volumen opterećenja

Trenažni volumen opterećenja progresivno se povećavao svaki tjedan u oba dodijeljena uvjeta. Svi ispitanici izveli su jednak broj ponavljanja i serija u oba uvjeta. U prvom tjednu ispitanici su bili podvrgnuti samo jednom treningu u kojem su izveli tri serije vježbi, a u drugom tjednu dva treninga s četiri odrađene serije. S obzirom na to da je riječ o netreniranoj skupini ispitanika, ispitanici su postupno uvođeni u trenažni proces kako bi se adaptirali na trenažni stimulans te kako bi se spriječila odgođena mišićna bol ili barem svela na minimalnu razinu (Cheung i sur., 2003). Ciljani broj treninga tijekom programiranog procesa bio je tri puta tjedno. Tijekom vremena broj serija se povećavao, pa je u zadnjem tjednu ukupni broj serija bio 15 , odnosno pet odrađenih serija po treningu.

Tablica 1. – Prikaz dinamike volumena opterećenja tijekom trajanja trenažnoga procesa

	Ponedjeljak	Srijeda	Petak
Tjedan 1.	/	/	3 serije
Tjedan 2.	4 serije	4 serije	/
Tjedan 3.	4 serije	4 serije	3 serije
Tjedan 4.	4 serije	4 serije	4 serije
Tjedan 5.	5 serije	4 serije	4 serije
Tjedan 6.	5 serije	5 serije	4 serije
Tjedan 7.	5 serije	5 serije	5 serije
Tjedan 8.	3 serije	2 serije	2 serije

3.7. Način rada u metodi opadajućih serija

Ispitanik bi nogom kojoj je dodijeljen uvjet rada metode opadajućih serija u početku izvodio vježbu s opterećenjem od 5 RM-a u čijem bi slučaju trebao postići trenutni mišićni otkaz. Odmah nakon takve dovršene serije, intenzitet opterećenja se smanjio za 20% te je ispitanik ponovno izvodio 5 RM-a do trenutnog mišićnog otkaza. Nakon čega dolazi do ponovnog smanjenja intenziteta opterećenja za 10% - 15% te se izvodi zadnjih 5 RM-a u čijem bi rasponu trebalo doći ponovno do momentalnog mišićnog otkaza. S obzirom da se odmah u početku primijetila jedna razina varijabilnosti broja ponavljanja, odnosno odstupanja od planiranog 5 RM-a, što i nije bilo tako neočekivano, osmišljen je ipak interval ciljanog broja ponavljanja sa donjom granicom od tri ponavljanja te gornjom granicom od sedam ponavljanja.

3.8. Način rada tradicionalnom metodom

Koristeći se tradicionalnom metodom, ispitanik je trebao određenim intenzitetom opterećenja postići trenutni mišićni otkaz na ciljanih 15 RM-a (nakon čega je slijedio odmor ili rad s drugom nogom DS metodom, do sljedeće serije). Međutim, zbog već spomenute varijabilnosti koja se pojavila i u ovoj metodi, donja granica ponavljanja iznosila je 13, a gornja granica 17 ponavljanja.

3.9. Statistička analiza podataka

Za analizu podataka korišteni su programi SPSS Statistics za Windows (verzija 27.0; IBM Corp.) i Excel 365 (Microsoft Corp.). Ultrazvučne snimke obrađene su u programu *ImageJ* (verzija 1.53c; National Institutes of Health, USA). Dobiveni podaci ručno su upisani u napravljene tablice koristeći MS Excel za svakog ispitanika te su izračunate aritmetičke sredine i standardne devijacije ($AS \pm SD$). Metoda kojom se provela statistička obrada podataka bila je dvofaktorska univarijatna analiza varijance za ponovljena mjerenja (two-way ANOVA) u kojoj je vrijeme predstavljalo jedan faktor dok su uvjeti odnosno metode rada DS i TM predstavljali drugi faktor. U slučaju nepostojanja statistički značajne interakcije proveo se *Bonferroni post-hoc* test s ciljem uočavanja glavnih učinaka. Također, proveo se i t-test za zavisne uzorke kako bi se odredilo postoji li statistički značajna razlika između ukupnih radnih volumena opterećenja u oba uvjeta.

Veličina učinka (ES) izražena kroz Cohenov d izračunata je tako da je aritmetička sredina inicijalnog mjerenja oduzeta od aritmetičke sredine finalnog mjerenja te sve podijeljeno sa zajedničkom standardnom devijacijom ukupnoga uzorka, a veličina porasta (izražena u postocima) izračunata je tako da je aritmetička sredina inicijalnog mjerenja oduzeta od aritmetičke sredine finalnog mjerenja te je ta razlika podijeljena s aritmetičkom sredinom inicijalnog mjerenja i zatim pomnožena sa 100. Rasponi za veličinu učinka definirani su gdje je ES 0,00 – 0,19 smatran trivijalnim, 0,20 – 0,49 malim, 0,50 – 0,79 umjerenim i $\geq 0,80$ velikim (Cohen, 1992) Statistička vjerojatnost pogreške postavljena je na $p < 0,05$.

4. REZULTATI

4.1. Debljina mišića – hipertrofijske adaptacije

Aritmetičke sredine i standardne devijacije inicijalnog i finalnog mjerenja te veličina učinka i veličina porasta svih testova za procjenu hipertrofije mišića prikazani su u Tablici 2. te Slikama 4. i 5.

Kako bi se uklonila mogućnost pogreške mjeritelja, izmjerena je intrakorelacija ponovljivosti mjerenja svih točaka na ultrazvuku ($ICC > 0,9$). (Tablica 3.)

Na 30% udaljenosti duž mišića RF nisu pronađeni statistički značajni glavni učinci za grupe ($p = 0,80$), ali postoje statistički značajni glavni učinci za vrijeme ($p < 0,001$) te interakciju grupa x vrijeme ($p = 0,001$). *Post-hoc* analiza pokazuje značajno povećanje debljine mišića u DS grupi ($p < 0,001$, $t = -5,448$), dok u TS grupi nema vidljive statistički značajne razlike između inicijalnog i finalnog mjerenja ($p = 0,058$, $t = -2,049$).

Nema statistički značajnih glavnih učinaka za grupe ($p = 0,25$) na 50% duž mišića RF, ali postoje statistički značajni glavni učinci za vrijeme ($p < 0,001$) te interakciju grupa x vrijeme ($p = 0,034$). *Post-hoc* analiza pokazuje značajno povećanje debljine mišića u obje grupe između inicijalnog i finalnog mjerenja (DS, $p = 0,000$, $t = -6,260$; TS, $p = 0,027$, $t = -2,452$).

Nisu pronađeni statistički značajni glavni učinci za grupe ($p = 0,39$) te interakciju grupa x vrijeme ($p = 0,70$) na 70% duž duljine mišića RF, ali postoje statistički značajni glavni učinci za vrijeme ($p = 0,006$).

Analiza debljine mišića VL na 30% duljine pokazuje statistički značajne glavne učinke za vrijeme ($p < 0,001$). Međutim, statistički značajnih učinaka za grupe ne postoji ($p = 0,14$) kao ni za interakciju grupa x vrijeme ($p = 0,439$).

Nisu pronađeni statistički značajni glavni učinci ni za jedan faktor na 50% (grupa x vrijeme, $ES = 0,24$) i 70% (grupa x vrijeme) duž mišića VL ($p > 0,05$).

Tablica 2. Deskriptivni pokazatelji inicijalnog i finalnog mjerenja, veličina učinka i veličina porasta svih mjerenih točaka za procjenu mišićne hipertrofije

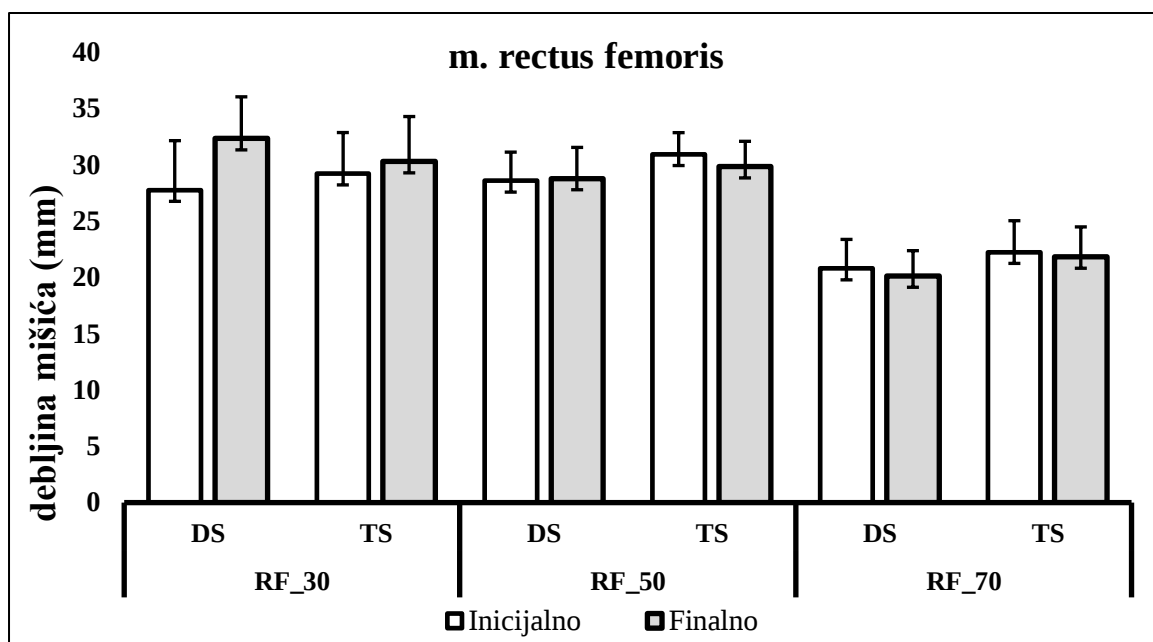
Varijabla	Trenažna metoda (DS/TS)	AS $\pm$ SD (mm) Inicijalno mjerenje	AS $\pm$ SD (mm) Finalno mjerenje	p (grupa)	p (vrijeme)	p (vrijeme x grupa)	Veličina učinka (d)	Veličina porasta (%)
RF_30	DS	27,75 $\pm$ 4,39	32,32 $\pm$ 3,71	0,80	<0,001†	<0,001†	1,20	17,7
	TS	29,21 $\pm$ 3,65	30,28 $\pm$ 4,00				0,28	3,7
RF_50	DS	28,57 $\pm$ 2,55	30,93 $\pm$ 2,76	0,25	<0,001†	<0,034†	0,89	8,3
	TS	28,78 $\pm$ 1,92	29,83 $\pm$ 2,25				0,50	3,6
RF_70	DS	20,78 $\pm$ 2,59	22,24 $\pm$ 2,67	0,39	<0,006†	0,702	0,56	7,0
	TS	20,12 $\pm$ 2,79	21,81 $\pm$ 3,24				0,56	8,4
VL_30	DS	22,74 $\pm$ 2,66	24,59 $\pm$ 2,73	0,14	<0,001†	0,439	0,69	8,1
	TS	22,44 $\pm$ 2,60	23,60 $\pm$ 2,28				0,47	5,2
VL_50	DS	24,51 $\pm$ 3,09	25,43 $\pm$ 1,88	0,56	0,051	0,580	0,36	3,8
	TS	24,52 $\pm$ 2,54	26,14 $\pm$ 2,87				0,60	6,6
VL_70	DS	20,92 $\pm$ 3,09	22,78 $\pm$ 1,99	0,091	0,687	0,053	0,72	8,9
	TS	20,63 $\pm$ 2,64	22,26 $\pm$ 3,36				0,54	7,9

Legenda: RF = m. rectus femoris; VL = m. vastus lateralis; DS = „Drop-set“ trenažna metoda; TS = tradicionalna trenažna metoda; AS $\pm$ SD = aritmetička sredina i standardna devijacija; † = značajno na $p < 0,05$.

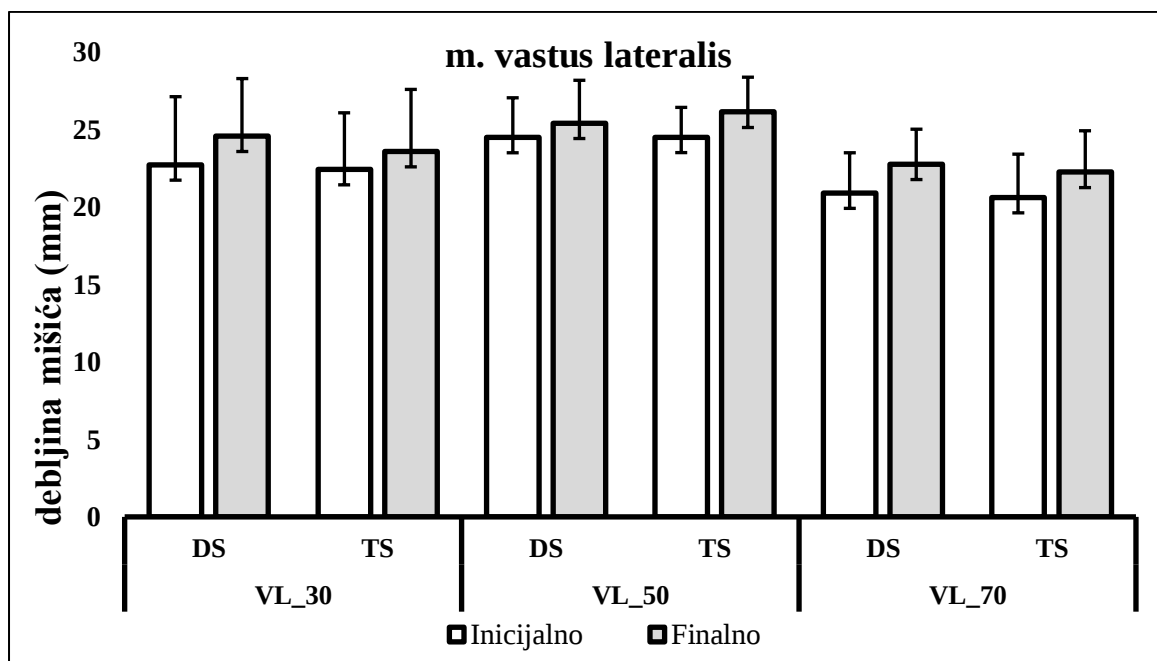
Tablica 3. Pouzdanost debljine mišića mjerene ultrazvukom na obje noge grupama ispitanika (ICC – intraklasni koeficijent)

Točka mjerenja	Noga (D/L)	ICC (95% CI)
RF 30%	D	0,984 (0,955; 0,994)
	L	0,958 (0,885; 0,985)
RF 50%	D	0,949 (0,862; 0,982)
	L	0,987 (0,951; 0,996)
RF 70%	D	0,993 (0,982; 0,998)
	L	0,983 (0,952; 0,994)
VL 30%	D	0,972 (0,923; 0,99)
	L	0,987 (0,964; 0,996)
VL 50%	D	0,984 (0,956; 0,994)
	L	0,989 (0,964; 0,996)
VL 70%	D	0,982 (0,952; 0,994)
	L	0,921 (0,788; 0,972)

Legenda: RF = m. rectus femoris; VL = m. vastus lateralis; D/L = desna i lijeva noga; 30%, 50%, 70% = točke duž mjerenog mišića; ICC = intraklasni koeficijent korelacije; 95% CI = 95% interval pouzdanosti.



Slika 4. Grafički prikaz regionalnih promjena debljine mišića (mm) *m. rectus femoris* između inicijalnog i finalnog testiranja za DS i TS uvjet.



Slika 5. Grafički prikaz regionalnih promjena debljine mišića (mm) *m. vastus lateralis* između inicijalnog i finalnog testiranja za DS i TS uvjet.

5. RASPRAVA

Cilj ovog rada bio je utvrditi utjecaj DS metode na hipertrofiju mišića QF te ju usporediti s učinkom TS metode. Utvrđeno je kako obje metode jednako utječu na povećanje debljine mišića analiziranih mišića te da nema statistički značajne razlike između njihovih utjecaja. Stoga se postavljena hipoteza da će DS metoda izazvati veće hipertrofijske promjene mišića kvadricepsa u odnosu na TS metodu odbacuje. Međutim, pronađene su statistički značajne razlike u regionalnom razvoju mišića *m. rectus femoris* u korist DS metode koja izaziva veće promjene na proksimalnom (na 30% duljine mišića) i središnjem (na 50% duljine mišića) dijelu mišića u odnosu na TS metodu. No, kako ista takva značajna razlika nije pronađena i na 70% duljine mišića, druga hipoteza vezana uz regionalne promjene djelomično se prihvaća.

5.1. Hipertrofijske adaptacije

Promatrajući razvoj mišićne hipertrofije, ispitanici su ostvarili značajan porast debljine mišića u oba uvjeta gledajući finalno u odnosu na inicijalno mjerenje. Najveće značajne regionalne promjene RF zabilježene su na 30% duljine mišića DS metodom (+17,7%, ES = 1,20) u odnosu na promjene dobivene TS metodom (+3,7%, ES = 0,28). Međutim, ovo je i jedina regionalna točka koja je imala najveći varijabilitet izmjerenih rezultata unatoč visokom ICC koeficijentu (0,984 za desnu i 0,958 za lijevu nogu) što je zasigurno moglo utjecati na tolike dobivene razlike između uvjeta.

Na 50% duljine RF također je zabilježen veliki porast debljine mišića u oba uvjeta (DS = +8.3%, ES = 0,89; TS = +3,6%, ES = 0,50). Vidljive su dvostruko veće promjene izražene u postocima, ali i veličini učinka koje idu u prilog DS metodi. U studiji koju su objavili B. J. Schoenfeld i sur. (2019), a u kojoj se istraživao utjecaj različitih veličina trenažnog volumena na mišićne adaptacije treniranih ispitanika (koji su bili uključeni u trening s otporom minimalno jednu godinu tri puta tjedno), zabilježen je porast debljine natkoljenice izmjeren na sredini mišića od 12,5% za grupu koja je provodila treninge velikoga volumena (45 radnih serija). Grupa koja je radila treninge najnižeg volumena (devet radnih serija) ostvarila je porast od 3,4% tijekom osam tjedana.

Rezultati ove studije prikazuju vrlo sličan porast u slučaju DS metode, ali s više od upola manjim volumenom čije su maksimalne vrijednosti unutar studije dosegle 15 radnih serija u sedmome tjednu. Iako se volumen smatra jednim od glavnih čimbenika treninga za razvoj hipertrofije, dobiveni rezultati mogli bi upućivati na činjenicu da bi smanjenje ukupnog radnog volumena (izražen kroz broj radnih serija) uz istodobno povećanje intenziteta (savladanog opterećenja) rada bila jedna od mogućih opcija u težnji za većim hipertrofijskim adaptacijama..

Ispitanici su u slučaju TS metode izvodili isti broj radnih serija kao i DS metodom. Uspoređujući grupu najnižeg volumena (devet radnih serija) iz studije B. J. Schoenfeld i sur. (2019) koji su izvodili ponavljanja u rasponu od 8 RM do 12 RM, što iznosi približno 71%-81% 1 RM-a i TS metodu kojom su ispitanici savladavali opterećenja od 67% 1 RM-a rezultati pokazuju gotovo jednak porast, što dodatno govori o interakciji između intenziteta i radnoga volumena.

Iako je veća razina napretka na 70% duljine RF ostvarena u slučaju TS metode (DS = +7,0%, ES = 0,56; TS = +8,4%, ES = 0,56), razlika je neznatna i nije statistički značajna pa se može zaključiti da su obje metode imale gotovo jednak učinak.

Gledajući RF u cjelini, može se primijetiti da je najveći porast DS metode zabilježen proksimalno dok su promjene na sredini i distalnom dijelu mišića bile vrlo slične. U slučaju TS metode ona prikazuje tendenciju rasta u distalnom dijelu.

Rezultati VL na 30% i 70% duljine mišića pokazuju da je DS metoda imala znatniji porast u proksimalnom (DS = +8,1%, ES = 0,69; TS = +5,2%, ES = 0,47) i distalnom dijelu (DS = +8,9%, ES = 0,72; TS = +7,9%, ES = 0,54) mišića u odnosu na TS metodu. Ovi rezultati u slaganju su s podacima Trindade i sur. (2019) koji su istraživali utjecaj napredne metode vježbanja pred-zamor (eng. *Pre-exhaustion*) te su pronašli jednake regionalne promjene VL.

Uspoređujući naše rezultate VL na 50% duljine mišića s rezultatima Angleri i sur. (2017), možemo primijetiti kako su ispitanici ove studije postigli gotovo upola manji napredak (DS = +3,8%, ES = 0,36; TS = +6,6%, ES = 0,60) u odnosu na ispitanike uspoređivane studije (DS = 7,8%; TS = 7,6%). Međutim, kod analize navedenih podataka potrebno je napomenuti da su autori mjerili promjene poprečnoga presjeka mišića dok je u slučaju ove studije to bila debljina mišića.

Osim duljine trajanja intervencije na dobivene razlike mogla je utjecati i specifična adaptacija QF pod utjecajem dodatne vježbe (jednonožnog kosog nožnog potiska) koja je u većoj ili manjoj mjeri aktivirala različita područja muskulature (Fonseca i sur., 2014).

Za cijeli VL bilježe se znatnija povećanja u proksimalnom i distalnom dijelu za DS metodu u odnosu na TS dok su promjene na sredini mišića bile znatnije u slučaju TS metode. Unatoč tome, ove razlike minimalne su između uvjeta, što ukazuje da DS metoda ne utječe drugačije na dodatne hipertrofijske adaptacije u odnosu na TS metodu.

Uspoređujući oba mišića, vidi se znatniji napredak VL nasuprot RF korištenjem TS metode u njegovu proksimalnom i srednjem dijelu. Podatci se ne slažu u potpunosti s rezultatima drugih istraživanja koja su istraživala regionalne razlike mišića QF. Matta i sur. (2017) uspoređivali su razlike unutar mišića nakon 14 tjedana trenažnih intervencija na izokinetičkom dinamometru i konvencionalnog načina treniranja koristeći se vježbom jednonožnog opružanja potkoljenice sjedeći. Oni bilježe porast od 14% (konvencionalna skupina) i 11% (eksperimentalna skupina) u RF-u dok se VL povećao za 6% (konvencionalna) i 5% (eksperimentalna). Ovi rezultati upozoravaju na to da su znatnije promjene RF mogle nastati uslijed specifične prirode same vježbe i veće mioelektrične aktivnosti pri ekscentričnim fazama pokreta (Matta i sur., 2017; M. V. Narici i sur., 1996). Iako se stručnjaci u potpunosti ne slažu, nekoliko je istraživanja pokazalo da primjena treninga niskoga intenziteta uzrokuje veće adaptacije mišićnih vlakana tipa I od treninga visokoga intenziteta (Vinogradova i sur., 2013). S druge strane, Morton i sur. (2016) koji su također istraživali adaptacije mišićnih vlakana VL, nisu pronašli statistički značajne razlike u adaptacijama između visoko i nisko intenzivnog treninga. Grgic & Schoenfeld (2018) upozoravaju na mogućnost homogenije adaptacije treniranih vježbača nego što je slučaj kod netreniranih. U našem se istraživanju tradicionalna metoda izvodila u konstantnom ritmu izmjena ekscentričnih i koncentričnih faza te u kontinuitetu svih 15 ponavljanja (± 2 ponavljanja) čime je isto tako produljeno vrijeme rada pod opterećenjem. Postoji mogućnost da su ovo opterećenje (67% od 1 RM-a) i način izvođenja značajno više utjecali na adaptacije vlakana tipa I VL nego je to bio slučaj za DS metodu iako su se u literaturi pod niskim intenzitetom prethodno definirala opterećenja $< 60\%$ od 1 RM-a (Grgic i sur., 2018).

5.2. Trenažni volumen

Literatura jasno pokazuje značaj trenažnog volumena u postizanju hipertrofijskih promjena (Baz-Valle i sur., 2022; Geantă & Ardelean, 2021; B. J. Schoenfeld i sur., 2017). Ukupni trenažni volumen može se prikazati na više načina, a jedan od najčešćih je tzv. „produktivni model utvrđivanja volumena opterećenja“. Riječ je o umnošku ekstenziteta (broja ponavljanja, broj radnih serija) i intenziteta rada (veličina savladanog opterećenja) (McBride i sur., 2009; Sekulić & Metikoš, 2007). Israel et al. (2020) predstavljaju model u kojem je broj radnih serija u tjednu po mišićnoj skupini u većoj korelaciji s mišićnim rastom nego navedeni produktivni model. Radi razumijevanja i uočavanja eventualnih razlika ukupni trenažni volumen u ovom radu izračunat je na dva načina: prema produktivnom modelu i kao umnožak broja serija i ponavljanja. T-test za zavisne uzorke pokazao je da nema statistički značajne razlike između volumena dvaju metoda kada se ukupni volumen računao kao umnožak broja

ponavljanja i broja serija ($p = 0,91$). No, u slučaju produktivnoga modela pronađena je statistički značajna razlika ($p > 0,001$). To je izravan pokazatelj kako je DS metoda omogućila znatno brži napredak u povećanju intenziteta rada (svladano opterećenje) u odnosu na TS metodu uz jednak broj serija i ponavljanja. Model ovog istraživanja temeljio se na konstantnom povećanju volumena od 1 serije tjedno. Jedino veće odstupanje predstavlja prijelaz iz prvog u drugi tjedan trenažnog perioda što je objašnjeno pod podnaslovom *Radni volumen opterećenja*. B. J. Schoenfeld i sur. (2017) preporučaju minimalno deset radnih serija za postizanje optimalne hipertrofijske adaptacije. Progresija intenziteta rada regulirala se po principu podizanja opterećenja kada je ispitanik izvodio broj ponavljanja izvan dogovorenih granica što se poklapa s prijedlozima Israetela i sur. (2020) te Minora i sur. (2020). Prema svemu navedenom može se primijetiti kako intenzitet uz radni volumen ima veliku ulogu u mišićnoj adaptaciji.

Ovo istraživanje slijedi određene smjernice Finka i sur. (2018) koji su smatrali da bi bilo dobro provesti istraživanje s istim ili sličnim modelom na većim mišićnim skupinama izvodeći višezglobne vježbe. Za ovaj rad ipak je odabrana izolacijska vježba jednonožnog opružanja potkoljenica sjedeći jer je metodološki jednostavnija za izvedbu te predstavlja manje psihičko i fiziološko opterećenje. Iako bi odabir kompleksnije vježbe poput čučnjeva pobliže predstavljao oblik kretanja iz svakodnevnih aktivnosti, bilo bi potrebno određeno razdoblje podučavanja i prilagodbe jer višezglobne vježbe zahtijevaju nešto višu razinu živčano-mišićne koordinacije od jednostavnijih jednozglobnih vježbi (Rutherford & Jones, 1986)

Potrebno je razmotriti postojeća ograničenja ove studije. Za početak, cijeli programirani trenažni proces trajao je osam tjedana. Prirodno se postavlja pitanje bi li daljnje povećanje trenažnog volumena i/ili intenziteta rada prouzročilo još veće adaptacije ili bi one postigle razinu stagnacije jer je poznato da je povezanost volumena i mišićnog rasta predstavljena obrnutom „U“ krivuljom (Heaselgrave i sur., 2019). Također, pojavljuje se i pitanje kontrole prehrambenih navika ispitanika što je svakako moglo utjecati na rezultate. No, s obzirom na to da je svaki ispitanik izvodio oba uvjeta te predstavljao sam sebi kontrolnu skupinu, posljedice prehrane reflektirale bi se na obje noge odnosno na oba uvjeta te time postale irelevantne za praćenje ili neku dublju analizu. Nadalje, rezultati istraživanja specifično su vezani uz izvođenje izolacijske vježbe, stoga se nužno ne mogu povezati ili primijeniti na ostale mišiće u tijelu ili s djelovanjem kompleksnih – višezglobnih vježbi za mišićnu masu donjih ekstremiteta. Uzorak ispitanika sastojao se od tjelesno aktivnih mladih muških ispitanika, stoga se rezultati ne mogu jednostavno generalizirati na žensku populaciju, adolescente, starije osobe ili npr. osobe sa značajnim iskustvom u treningu s otporom. Nažalost, unatoč zadovoljenoj potrebi veličine

uzorka, u istraživanju je bilo prisutno veliko osipanje ispitanika što je u određenoj mjeri utjecalo na analizu jer bi u suprotnom potencijalno postojao ipak jasniji uvid u analizirane promjene.

Većina navedenih istraživanja ove tematike je kraćeg trajanja, stoga bi bilo zanimljivo istražiti dugotrajniji učinak DS metode, odnosno moguće dodatne adaptacije u duljim trenažnim razdobljima poput 12 ili 16 tjedana. Također, vrijedilo bi istražiti utjecaj ove metode u višezglobnim kompleksnim vježbama te osim učinaka, promatrati i subjektivnu procjenu opterećenja rada, tzv. RPE (*rate of perceived exertion*). Bilo je jasno vidljivo uz neslužbene komentare ispitanika tijekom treninga i objektivne pokazatelje umora poput crvenila i zapuhivanja (frekvencije disanja) da je DS metoda bila puno zahtjevnija za izvedbu nego TS metoda. Stoga bi bilo zanimljivo vidjeti koliko bi takva metoda utjecala na globalni akutni umor kad bi se koristila u osnovnim / kompleksnim vježbama.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati jasno pokazuju kako obje metode (DS i TS) uzrokuju hipertrofiju mišića u treningu s otporom. Također, potvrđeno je kako je QF podložan neuniformnom hipertrofijskom razvoju. Specifično, DS metoda statistički je značajno povećala regiju na 30% i 50% duljine mišića RF u odnosu na TS metodu. Uzevši u obzir da se primjenom DS metode može obaviti veći volumen rada u kraćem vremenu te podići viši intenzitet opterećenja od TS metode (veći utjecaj na jakost), uočena je velika praktična primjena DS metode. Međutim, upravo iz prethodno navedenog razloga, savjetovano je ograničiti ili kontrolirati frekvenciju primjene DS metode kako ne bi došlo do naglog umora centralnoga živčanog sustava, perifernog umora mišića ili pak do generalne pretreniranosti, što je posebno bitno u profesionalnom sportu s obzirom na veliki broj ostalih treninga u npr. jednom mezociklusu. Na kraju možemo zaključiti da se primjena DS metode svakako može preporučiti u treningu rekreativaca i vrhunskih sportaša s ciljem porasta veličine mišića, ali uz kvalitetnu manipulaciju njene periodizacije.

7. LITERATURA

- Adam, A., & de Luca, C. J. (2003). Recruitment Order of Motor Units in Human Vastus Lateralis Muscle Is Maintained During Fatiguing Contractions. *Journal of Neurophysiology*, 90(5), 2919–2927. <https://doi.org/10.1152/jn.00179.2003>
- Adams, G. R., & Bamman, M. M. (2012). Characterization and Regulation of Mechanical Loading-Induced Compensatory Muscle Hypertrophy. U *Comprehensive Physiology* (str. 2829–2870). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110066>
- Almstedt, H. C., Canepa, J. A., Ramirez, D. A., & Shoepe, T. C. (2011). Changes in bone mineral density in response to 24 weeks of resistance training in college - age men and women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1098–1103. www.nsca-jscr.org
- Amarante do Nascimento, M., Serpeloni Cyrino, E., Yuzo Nakamura, F., Romanzini, M., José Cardoso Pianca, H., & Roberto Queiróga, M. (2007). Validation of the Brzycki equation for the estimation of 1-RM in the bench press. *Rev Bras Med Esporte*, 13(1), 40e–42e.
- Angleri, V., Ugrinowitsch, C., & Libardi, C. A. (2017). Crescent pyramid and drop-set systems do not promote greater strength gains, muscle hypertrophy, and changes on muscle architecture compared with traditional resistance training in well-trained men. *European Journal of Applied Physiology*, 117(2), 359–369. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3529-1>
- Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, C., & Santos-Concejero, J. (2022). A Systematic Review of the Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 199–210. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0017>
- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88–90. <https://doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684>
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W. D., Little, J. P., Cochran, A. J. R., Hector, A. J., Cashaback, J. G. A., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *The Journal of Physiology*, 590(2), 351–362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1974). Association of Schools of Public Health Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related. U *Public Health Reports* (Sv. 100, Issue 2). <http://www.jstor.orgURL:http://www.jstor.org/stable/20056429>
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed Onset Muscle Soreness. *Sports Medicine*, 33(2), 145–164. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333020-00005>
- Claudino, J. G., Afonso, J., Sarvestan, J., Lanza, M. B., Pennone, J., Filho, C. A. C., Serrão, J. C., Espregueira-Mendes, J., Vasconcelos, A. L. V., de Andrade, M. P., Rocha-Rodrigues, S., Andrade, R., & Ramirez-Campillo, R. (2021). Strength training to prevent falls in older

- adults: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Clinical Medicine*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/jcm10143184>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Damas, F., Phillips, S., Vechin, F. C., & Ugrinowitsch, C. (2015). A Review of Resistance Training-Induced Changes in Skeletal Muscle Protein Synthesis and Their Contribution to Hypertrophy. U *Sports Medicine* (Sv. 45, Issue 6, str. 801–807). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0320-0>
- Distasio, T. J. (2014). *Validation of the Brzycki and Epley Equations for the 1 Repetition Maximum Back Squat Test in Division I College Football Players*. http://opensiuc.lib.siu.edu/gs_rp
- Duplanty, A. A., Levitt, D. E., Hill, D. W., Mcfarlin, B. K., Dimarco, N. M., & Vingren, J. L. (2018). Resistance training is associated with higher bone mineral density among young adult male distance runners independent of physiological factors. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(6), 1594–1600. www.nscs.com
- E. Hall, J., & E. Hall, M. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. U *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (14. izd., str. 90). Elsevier Inc. USA.
- Elisabeth Willems, M., Negaresh, R., & Cione, E. (2022). Strength training in elderly: An useful tool against sarcopenia. *Frontiers in Sports and Active Living*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.950949>
- Fink, J., Schoenfeld, B. J., Kikuchi, N., & Nakazato, K. (2018). Effects of drop set resistance training on acute stress indicators and long-term muscle hypertrophy and strength. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(5), 597–605. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06838-4>
- Fisher, J. P., Carlson, L., & Steele, J. (2015). The Effects of Breakdown Set Resistance Training on Muscular Performance and Body Composition in Young Men and Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1425–1432. www.nscs.com
- Fonseca, R. M., Roschel, H., Tricoli, V., de Souza, E. O., Wilson, J. M., Laurentino, G. C., Aihara, A. Y., de Souza Leão, A. R., & Ugrinowitsch, C. (2014). Changes in Exercises Are More Effective Than in Loading Schemes to Improve Muscle Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3085–3092. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000539>
- Galindo Martín, C. A., Monares Zepeda, E., & Lescas Méndez, O. A. (2017). Bedside Ultrasound Measurement of Rectus Femoris: A Tutorial for the Nutrition Support Clinician. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2767232>
- Geantă, V. A., & Ardelean, V. P. (2021). Improving muscle size with Weider's principle of progressive overload in non-performance athletes. *Timisoara Physical Education and Rehabilitation Journal*, 14(27), 27–32. <https://doi.org/10.2478/tperj-2021-0011>

- Goto, K., Nagasawa, M., Yanagisawa, O., Kizuka, T., Ishii, N., & Takamatsu, K. (2004). Muscular Adaptations to Combinations of High- and Low-Intensity Resistance Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 730–737.
- Grgic, J., Homolak, J., Mikulic, P., Botella, J., & Schoenfeld, B. J. (2018). Inducing hypertrophic effects of type I skeletal muscle fibers: A hypothetical role of time under load in resistance training aimed at muscular hypertrophy. *Medical Hypotheses*, 112, 40–42. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2018.01.012>
- Grgic, J., & Schoenfeld, B. J. (2018). Are the Hypertrophic Adaptations to High and Low-Load Resistance Training Muscle Fiber Type Specific? *Frontiers in Physiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00402>
- Heaselgrave, S. R., Blacker, J., Smeuninx, B., McKendry, J., & Breen, L. (2019). Dose-Response Relationship of Weekly Resistance-Training Volume and Frequency on Muscular Adaptations in Trained Men. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(3), 360–368. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0427>
- Hirono, T., Ikezoe, T., Taniguchi, M., Tanaka, H., Saeki, J., Yagi, M., Umehara, J., & Ichihashi, N. (2020). *Relationship Between Muscle Swelling and Hypertrophy Induced by Resistance Training*. www.nscs.com
- Howe, L., & Waldron, M. (2017). Advanced resistance training strategies for increasing muscle hypertrophy and maximal strength. Part 1: Accumulation methods The influence of body position on limb occlusive pressure measurement: Implications for blood flow restriction and ischemic preconditioning View project Ergogenic Aids View project. *Professional Strength & Conditioning*, 47, 7–13. <https://www.researchgate.net/publication/322086880>
- Israetel, M., Feather, J., Faleiro, T. v., & Juneau, C.-E. (2020). Mesocycle Progression in Hypertrophy: Volume Versus Intensity. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 2–6. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000518>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>
- Krzysztofik, M., Wilk, M., Wojdała, G., & Gołaś, A. (2019). Maximizing muscle hypertrophy: A systematic review of advanced resistance training techniques and methods. U *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Sv. 16, Issue 24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244897>
- Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Laurentino, G., Tavares, L. D., & Tricoli, V. (2019). Similar Muscular Adaptations in Resistance Training Performed Two Versus Three Days Per Week. *Journal of Human Kinetics*, 68(1), 135–143. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0062>
- Massey, G., Evangelidis, P., & Folland, J. (2015). Influence of contractile force on the architecture and morphology of the quadriceps femoris. *Experimental Physiology*, 100(11), 1342–1351. <https://doi.org/10.1113/EP085360>

- Materko, W., & Santos, E. L. (2009). Prediction of one repetition maximum strength (1RM) based on a submaximal strength in adult males. *Isokinetics and Exercise Science*, 17(4), 189–195. <https://doi.org/10.3233/IES-2009-0353>
- Mathis, S. L., & Caputo, J. L. (2017). Resistance training is associated with higher lumbar spine and hip bone mineral density in competitive male cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 274–279. www.nsga.com
- Matta, T. T., Nascimento, F. X. M. B., Fernandes, I. A., & Oliveira, L. F. (2015). Heterogeneity of rectus femoris muscle architectural adaptations after two different 14-week resistance training programmes. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(3), 210–215. <https://doi.org/10.1111/cpf.12151>
- Matta, T. T., Nascimento, F. X., Trajano, G. S., Simão, R., Willardson, J. M., & Oliveira, L. F. (2017). Selective hypertrophy of the quadriceps musculature after 14 weeks of isokinetic and conventional resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(2), 137–142. <https://doi.org/10.1111/cpf.12277>
- Mayans, D., Cartwright, M. S., & Walker, F. O. (2012). Neuromuscular Ultrasonography: Quantifying Muscle and Nerve Measurements. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 23(1), 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2011.11.009>
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., Cormie, P., Nuzzo, J. L., Cavill, M. J., & Triplett, N. T. (2009). Comparison of Methods to Quantify Volume During Resistance Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 106–110. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31818efdfc>
- Minor, B., Helms, E., & Schepis, J. (2020). RE: Mesocycle Progression in Hypertrophy: Volume Versus Intensity. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 121–124. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000581>
- Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Wavell, C. G., Mazara, N., McGlory, C., Quadrilatero, J., Baechler, B. L., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2016). Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *Journal of Applied Physiology*, 121(1), 129–138. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00154.2016>
- Mosti, M. P., Carlsen, T., Aas, E., Hoff, J., Stunes, A. K., & Syversen, U. (2014). Maximal strength training improves bone mineral density and neuromuscular performance in young adult women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2935–2945. www.nsga.com
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., Conti, M., & Cerretelli, P. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157(2), 175–186. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1996.483230000.x>
- Narici, M. v, Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *U ° Applied Journal of Physiology and Occupational Physiology* (Sv. 59).

- Nasarudin, A. N., Fazira Sidek, F., & Shaari, I. H. (2020). Prediction of quadriceps one repetition maximum (1RM) among novice lifters using 1RM equations. *Health Scope*, 3(1).
- Ogasawara, R., Thiebaud, R. S., Loenneke, J. P., Loftin, M., & Abe, T. (2012). Time course for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. *Interventional Medicine and Applied Science*, 4(4), 217–220. <https://doi.org/10.1556/imas.4.2012.4.7>
- Ozaki, H., Kubota, A., Natsume, T., Loenneke, J. P., Abe, T., Machida, S., & Naito, H. (2018). Effects of drop sets with resistance training on increases in muscle CSA, strength, and endurance: a pilot study. *Journal of Sports Sciences*, 36(6), 691–696. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1331042>
- Pluncevic Gligoroska, J., Manchevska, S., Petrovska, S., & Dejanova, B. (2022). Physiological mechanisms of muscle hypertrophy. *Research in Physical Education, Sport and Health*, 11(1), 153–160. <https://doi.org/10.46733/pesh22111153pg>
- Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Longo, S., & Narici, M. v. (2009). Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Experimental Physiology*, 94(7), 825–833. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.046599>
- Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(1), 100–105. <https://doi.org/10.1007/BF00422902>
- Sabatino, A., Kooman, J. P., di Motta, T., Cantarelli, C., Gregorini, M., Bianchi, S., Regolisti, G., & Fiaccadori, E. (2022). Quadriceps muscle thickness assessed by ultrasound is independently associated with mortality in hemodialysis patients. *European Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1038/s41430-022-01166-7>
- Schoenfeld, B. (2011). The Use of Specialized Training Techniques to Maximize Muscle Hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, 33(4), 60–65. www.nsca-lift.org
- Schoenfeld, B. J. (2010). The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. www.nsca-jscr.org
- Schoenfeld, B. J. (2013). Potential Mechanisms for a Role of Metabolic Stress in Hypertrophic Adaptations to Resistance Training. *Sports Medicine*, 43(3), 179–194. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0017-1>
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(1), 94–103. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001764>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073–1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>

- Sekulić, D., & Metikoš, D. (2007). *Osnove transformacijskih postupaka u kineziologiji: uvod u osnovne kineziološke transformacije*. Fakultet prirodoslovno-matematičkih znanosti i kineziologije.
- Tesch, P. A., Colliander, E. B., & Kaiser, P. (1986). Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(4), 362–366. <https://doi.org/10.1007/BF00422734>
- Trindade, T. B., Prestes, J., Neto, L. O., Medeiros, R. M. V., Tibana, R. A., de Sousa, N. M. F., Santana, E. E., Cabral, B. G. de A. T., Stone, W. J., & Dantas, P. M. S. (2019). Effects of Pre-exhaustion Versus Traditional Resistance Training on Training Volume, Maximal Strength, and Quadriceps Hypertrophy. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01424>
- Vieira, A. F., Umpierre, D., Teodoro, J. L., Lisboa, S. C., Baroni, B. M., Izquierdo, M., & Cadore, E. L. (2021). Effects of Resistance Training Performed to Failure or Not to Failure on Muscle Strength, Hypertrophy, and Power Output: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(4), 1165–1175. www.nscs.com
- Vinogradova, O. L., Popov, D. v., Netreba, A. I., Tsvirkun, D. v., Kurochkina, N. S., Bachinin, A. v., Bravyi, Ya. R., Lyubaeva, E. v., Lysenko, E. A., Miller, T. F., Borovik, A. S., Tarasova, O. S., & Orlov, O. I. (2013). Optimization of training: New developments in safe strength training. *Human Physiology*, 39(5), 511–523. <https://doi.org/10.1134/S0362119713050162>
- Willardson, J. M. (2007). The Application of Training to Failure in Periodized Multiple-set Resistance Exercise Programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 628–631.
- Zhao, R., Li, X., Jiang, Y., Su, N., Li, J., Kang, L., Zhang, Y., & Yang, M. (2022). Evaluation of Appendicular Muscle Mass in Sarcopenia in Older Adults Using Ultrasonography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Gerontology*, 1–25. <https://doi.org/10.1159/000525758>