

Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Andrija Mikša

**UČINKOVITOST METODE ISTEZANJA S
OTPOROM IZMEĐU SERIJA NA MIŠIĆNU
JAKOST, HIPERTROFIJU I ARHITEKTURU
MIŠIĆA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2025

Faculty of Kinesiology, University of Zagreb

Andrija Mikša

**EFFECTIVENESS OF INTER SET
STRETCHING METHOD ON MUSCLE
STRENGTH, HYPERTROPHY, AND
ARCHITECTURE**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2025

Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagreb

ANDRIJA MIKŠA

**UČINKOVITOST METODE ISTEZANJA S
OTPOROM IZMEĐU SERIJA NA MIŠIĆNU
JAKOST, HIPERTROFIJU I ARHITEKTURU
MIŠIĆA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Saša Vuk

Zagreb, 2025

FACULTY OF KINESIOLOGY, UNIVERSITY OF ZAGREB

Andrija Mikša

**EFFECTIVENESS OF INTER SET
STRETCHING METHOD ON MUSCLE
STRENGTH, HYPERTROPHY, AND
ARCHITECTURE**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Assoc. Prof. Saša Vuk, PhD

Zagreb, 2025

ŽIVOTOPIS MENTORA

Izv. prof. dr. sc. Saša Vuk diplomirao je 2005. godine, a doktorirao 2011. godine s temom „Procjena funkcije mišićnog sustava nogu: odnos vanjskih opterećenja i mehaničkih izlaza“ na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Zaposlen je 2007. godine na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu kao znanstveni novak u suradničkom zvanju asistent na predmetu Osnovne kineziološke transformacije i predmetima smjera Fitnes. 2017. godine izabran je u znanstveno-nastavno zvanje docent, a od veljače 2023. je izvanredni profesor. Voditelj je specijalističkog diplomskog stručnog studija za izobrazbu trenera smjera fitnes, te prijediplomskog stručnog i diplomskog specijalističkog studija za izobrazbu trenera smjera taekwondo. Od 2017. godine koordinator (voditelj) je studenata na prijediplomskom stručnom studiju za izobrazbu trenera. Od 2019.-2022. godine je, kao vanjski suradnik, nositelj predmeta Mjerenje i procjenjivanje fitnesa na Fakultetu za odgojne i obrazovne znanosti, danas Kineziološkom fakultetu Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. U dosadašnjem radu je objavio 36 znanstvena i 9 stručnih radova. Kao izvođač je sudjelovao na četiri, a kao voditelj na tri znanstveno-istraživačka projekta iz područja kineziologije. Objavio je priručnik „Osnove treninga s otporom“ za nastavu predmeta Osnovne kineziološke transformacije 1, te Metodika treninga fitnesa 1 i 2. Aktivno sudjeluje i prezentira radove na brojnim međunarodnim i domaćim znanstveno-stručnim konferencijama. Na poziv uredništava, recenzirao je radove za najuglednije časopise u području sportskih znanosti. Tajnik je i urednik sekcije „Biomehanika i motorička kontrola“ zbornika radova međunarodne znanstveno-stručne konferencije o kineziologiji – „Kinesiology“. Aktivno se bavio taekwondo u kojem je bio višestruki državni prvak, te preko 15 godina trener u nekoliko zagrebačkih taekwondo klubova. Od 2010. godine aktivno se bavi kaskaderstvom i glumom.

ZAHVALE

Želio bih se zahvaliti mentoru dr.sc. Saši Vuku što me vodio kroz proces provedbe istraživanja i pisanja doktorskog rada. Bez profesora Vuka provedba istraživanja ne bi bila moguća. Isto tako kada god je bilo potrebno profesor Vuk je stajao na raspolaganju, uzeo vremena za nebrojena pitanja te svojim savjetima i zalaganjem omogućio provedbu i pisanje istraživanja. Nadalje, želio bih se zahvaliti članovima povjerenstva profesorima Danielu Boku, Luki Milanoviću i Nejcu Šarabonu, ne samo zbog vrijednih savjeta i konstruktivnih kritika koje su pomogle oko provedbe istraživanja i pisanja samog rada, već i što su tijekom cjelokupnog studija prenijeli svoje neprocjenjivo znanje i iskustvo, zainteresirali me za kineziologiju kao znanost te time indirektno utjecali na završetak doktorskog studija. Profesor Bok je jednom zgodom rekao na prvoj godini studija da nema „glupih“ pitanja, i mislim da mi je ta rečenica ostala u glavi, te imam osjećaj da sam ju zlorabio maksimalno na svakom kolegiju koji mi je predavao profesor Bok. Isto tako ni profesor Milanović nije bio pošteđen istih. Šalu na stranu, to samo govori o kvaliteti predavanja te širini znanja s kojom su profesori raspolagali. Uz to hvala i svim ostalim profesorima na studiju na svemu što su pružili. Veliko hvala studentima koji su sudjelovali u istraživanju i cijeli proces shvatili maksimalno ozbiljno, jedan drugoga stalno gurali, te napravili fantastičnu atmosferu koja je dovela do toga da budu ustrajni svih 10 tjedana unatoč obavezama na fakultetu. Najjača ekipa. Veliko hvala Jeleni i Matiji koji su pomagali s mjerenjem i time drastično ubrzali cjelokupni proces utvrđivanja inicijalnog i finalnog stanja ispitanika. Hvala profesoru Mikuliću što je povjerio ključ od laboratorija za motoričku kontrolu na korištenje i time nam odškrinuo vrata prema novim znanstvenim spoznajama. Neizmjerena hvala tetama čistačicama što su mi davale ključeve od gym-a te uvijek bile spremne pomoći ako je što zatrebalo. Najveća hvala roditeljima mami Blanki i tati Branku koji su mi sve u životu omogućili, usmjeravali me uvijek na pravi put i bez kojih apsolutno ništa ne bi bilo moguće.

UČINKOVITOST METODE ISTEZANJA S OTPOROM IZMEĐU SERIJA NA MIŠIĆNU JAKOST, HIPERTROFIJU I ARHITEKTURU MIŠIĆA

SAŽETAK

Osnovni cilj ove disertacije je bio utvrditi utječe li metoda istezanja s otporom između serija (ISO) na mišićnu jakost, hipertrofiju i arhitekturu mišića. Metoda istezanja s otporom između serija podrazumijeva izvođenje radne serije do otkaza, nakon čega se neposredno zauzima pozicija istezanja ciljane mišićne skupine uz dodano opterećenje. Drugim riječima, umjesto klasične pauze između serija, mišić se održava u istegnutom položaju pod opterećenjem tijekom unaprijed određenog vremena. Prigodni uzorak ispitanika bile su mlade, zdrave i tjelesno aktivne muške osobe, studenti Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ($n = 28$) čije su strane tijela slučajnim odabirom podijeljene u: 1) eksperimentalni uvjet koji je koristio metodu istezanja s otporom između serija, i 2) kontrolni uvjet koji je imao pasivnu pauzu između serija. Oba uvjeta su podvrgnuta osmo-tjednom progresivnom treningu s otporom koji je uključivao četiri vježbe, jednu za svaku mišićnu skupinu, tri puta tjedno. Broj serija se progresivno povećavao sa 6 do 12 tjedno tijekom protokola. Trajanje istezanja za eksperimentalni uvjet se progresivno povećavalo s 20 na 30 sekundi koje se izvodilo neposredno po završetku radne serije unutar pauze od 2 minute, dok je kontrolni uvjet imao pasivnu pauzu. Parametri poput mišićne jakosti, debljine i arhitekture mjereni su na početku i kraju programa. ISO metoda pokazala je dodatan i regionalno diferencijalan učinak na hipertrofiju mišića ($p = 0.02 - 0.47$), posebno kod mišića *pectoralis major* ($p = 0.02$), dok za ostale mišićne skupine nije bilo značajne razlike između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta niti za jednu promatranu varijablu ($p = 0.07 - 0.98$). Svi ispitanici pokazali su značajan porast mišićne jakosti i debljine mišića tijekom vremena, neovisno o korištenim metodama treninga. Percepcija intenziteta istezanja bila je značajno veća kod vježbi za mišiće *pectoralis major* u usporedbi s ostalim mišićnim skupinama ($p = 0.00$). Iz navedenih rezultata se čini da metoda istezanja s otporom između serija može biti učinkovita za povećanje rasta mišića ako je intenzitet istezanja dovoljno visok. Ipak, nije jasno je li navedeno zbog samog istezanja ili zbog većeg ukupnog trajanja napetosti za eksperimentalni uvjet pod dovoljno visokim intenzitetom. Buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti na ispitivanje različitih protokola i populacija kako bi se dodatno unaprijedile preporuke za njenu primjenu. Rezultati ovog istraživanja potvrđuju primjenjivost ISO metode u treningu čiji je cilj razvoj hipertrofije mišića.

Ključne riječi: debljina mišića, intenzitet, kut penacije, regionalna hipertrofija, *pectoralis major*, napredne trenažne metode

EFFECTIVENESS OF INTER SET STRETCHING METHOD ON MUSCLE STRENGTH, HYPERTROPHY, AND ARCHITECTURE

ABSTRACT

Introduction

Muscle hypertrophy and strength are key goals in sports training, rehabilitation, and fitness. The Loaded Interset Stretching (ISO) method is an innovative approach to training that combines the benefits of traditional resistance training with intense stretching during breaks between sets. ISO theoretically increases time under tension and activates complementary muscle adaptation mechanisms, which may contribute to increased muscle mass, architecture, and strength. This research aimed to examine the effectiveness of the ISO method in relation to traditional resistance training protocols.

Methods

Physically active students ($n = 28$) participated in the research, whose sides of the body were randomly divided into two: experimental, which used the ISO method, and control, which had passive breaks between sets. The eight-week training program consisted of two to three sessions per week, including four exercises for different muscle groups, with a progressive increase in volume and intensity. The experimental condition performed loaded stretching immediately after the sets, while the control condition used a passive break. Parameters such as muscle strength, thickness and architecture were measured at the beginning and end of the program.

Results

The ISO method showed an additional effect on muscle hypertrophy, especially in the *pectoralis major*, while for other muscle groups there was no significant difference between the experimental and control groups. All subjects showed a significant increase in muscle strength and thickness over time, regardless of training conditions. The perception of the intensity of stretching was significantly higher with exercises for the *pectoralis major* compared to other muscle groups.

Discussion

The results indicate the potential of the ISO method as a tool for targeted muscle adaptation. The combination of strength training and loaded stretching provides the conditions for

hypertrophy, particularly in muscle groups such as the *pectoralis major*. Although no significant differences in muscle strength were found between the conditions, the ISO method stands out as a practical strategy for increasing the duration of muscle stimulation without additional training time. Practical implications include the possibility of applying the ISO method in different sports and recreational contexts.

Conclusion

The loaded interset stretch is an effective strategy for increasing muscle hypertrophy in individual muscle groups. Its simple applicability makes it a practical tool for coaches and athletes. Future research should focus on examining different protocols and populations to further improve recommendations for its application. The results of this research confirm the applicability of the ISO method in training aimed at the development of muscle hypertrophy.

Key words: muscle hypertrophy, stretching intensity, muscle architecture, regional hypertrophy, stretching under load, advanced training methods

SADRŽAJ

1. UVOD	12
1.1. Vrste mišićne hipertrofije.....	12
1.2. Mehanizmi rasta mišića.....	15
1.2.1. Metabolički stres.....	15
1.2.2. Oštećenje mišića	16
1.2.3. Mehanička napetost	17
1.3. Učinak volumena opterećenja na mišićni rast i jakost	18
1.3.1 Odnos volumena opterećenja i vremena pod napetošću.....	19
1.4. Aktivna i pasivna napetost	20
1.4.1. Aktivna napetost	20
1.4.2. Pasivna napetost	21
1.4.3. Uloga aktivne i pasivne napetosti u hipertrofiji.....	21
1.5. Regionalna hipertrofija.....	23
1.6. Utjecaj istezanja na mišićni rast	24
1.7. Utjecaj istezanja na mišićnu hipertrofiju i jakost	25
1.8. Metoda istezanja s otporom između serija	28
1.9. Problem rada	32
2. CILJEVI I HIPOTEZE	34
3. METODE RADA.....	36
3.1. Ispitanici	36
3.2. Eksperimentalni nacrt.....	38
3.3. Mjerni instrumenti.....	39
3.3.1. Mjerenje debljine i arhitekture mišića	39
3.3.2. Mišićna jakost.....	47
3.3.3. Intenzitet istezanja	49
3.4. Trenažni program	49
3.5. Statistička analiza podataka	56

4. REZULTATI.....	58
4.2. Vršni moment sile pregibanja i ispružanja lakta (60°/s) i jedno maksimalno ponavljanje (1RM).....	66
4.3. Debljina mišića.....	69
4.2.1. Debljina mišića <i>pectoralis major</i>	70
4.2.2. Debljina mišića <i>biceps brachii</i>	72
4.2.3. Debljina mišića <i>triceps brachii</i>	72
4.2.4. Debljina mišića <i>triceps surae</i>	72
4.3. Arhitektura mišića.....	74
4.4. Percipirani intenzitet istežanja	75
4.5. Ukupni trenažni volumen.....	76
4.6. Povezanost između promjena debljine mišića i promjena jakosti	77
5. RASPRAVA	78
6. ZAKLJUČAK	97
7. LITERATURA	99
8. ŽIVOTOPIS I POPIS JAVNO OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA	126
8.1. Popis radova	126

1. UVOD

Mišićna hipertrofija i povećanje mišićne jakosti predstavljaju temeljne ciljeve sportskog treninga, rehabilitacijskih programa i očuvanja mišićne funkcije tijekom životnog vijeka. U području sportskih znanosti, fitnesa i kondicijske pripreme, istraživanje metoda koje mogu potaknuti učinkovitije mišićne adaptacije ima izniman znanstveni i praktični značaj.

Metoda istezanja s otporom između serija (ISO) pojavljuje se kao inovativan pristup treningu koji objedinjuje prednosti tradicionalnog treninga s otporom i intenzivnog istezanja mišića u razdobljima odmora. Teorijski gledano, ova metoda produljuje trajanje mehaničke napetosti te aktivira i aktivne i pasivne mehanizme koji sudjeluju u mišićnom rastu (Schoenfeld i sur., 2022), čime potencijalno može potaknuti izraženije adaptacije i veću učinkovitost treninga.

Unatoč potencijalnim prednostima, dosadašnja istraživanja donose neujednačene i ponekad kontradiktorne rezultate o učincima ISO metode na mišićnu jakost i hipertrofiju, dok istraživanja koja bi analizirala njezin utjecaj na arhitekturu mišića uopće nisu provedena. Posebno je nepoznato djeluje li intenzitet istezanja između serija kao čimbenik koji modulira hipertrofijski i morfološki odgovor mišića te razlikuje li se učinak metode među različitim mišićnim skupinama.

Iz navedenog proizlazi istraživački problem koji se odnosi na potrebu za dubljim razumijevanjem mehanizama i učinaka metode istezanja s otporom između serija, s posebnim naglaskom na promjene u arhitekturi mišića i odnos percipiranog intenziteta istezanja i mišićnih adaptacija.

Kako bi se pružila cjelovita podloga za analizu navedenog problema, u nastavku rada razmatraju se vrste mišićne hipertrofije, temeljni mehanizmi mišićnog rasta te teorijski okviri koji podupiru razumijevanje ove teme.

1.1. Vrste mišićne hipertrofije

Razumijevanje osnovnih strukturnih i funkcionalnih karakteristika skeletnih mišića ključno je za istraživanje njihovih prilagodbi na različite trenažne podražaje i potencijalne mehanizme koji omogućuju mišićnu hipertrofiju. Ovo poglavlje pruža pregled složene biologije mišića kako bi se postavila znanstvena osnova za analizu učinaka naprednih trenažnih metoda, poput istezanja između serija s otporom, na njihovu arhitekturu i funkciju.

Skeletni mišići su visoko organizirana tkiva sastavljena od snopova mišićnih vlakana. Svako mišićno vlakno sadrži miofibrile, osnovne kontraktilne elemente, čiju osnovnu jedinicu čine sarkomere (Mukund i Subramaniam, 2020). Sarkomere su strukture unutar mišićne stanice koje omogućuju kontrakciju zahvaljujući koordiniranom djelovanju tankih filamenata (aktina i povezanih proteina) i debelih filamenata (miozina i povezanih proteina), koji su paralelno poravnati s dužinom vlakna. Granice svake sarkomere obilježene su Z-pločama, a tijekom kontrakcije njihova duljina se smanjuje ili povećava ovisno o vrsti mišićne akcije (Roberts i sur., 2023).

Snopovi miofibrila organizirani su u fascikule, koje se grupiraju u mišiće. Ove složene strukture okružene su vezivnim tkivom i ekstracelularnim matriksom, koji osiguravaju mehaničku stabilnost i prijenos sile unutar mišića. Skeletni mišići su također bogato vaskularizirani i inervirani, što omogućuje učinkovitu produkciju energije i održavanje stanične homeostaze tijekom različitih fizioloških opterećenja (Frontera i Ochala, 2015; JoanISOe i sur., 2017). U svojoj složenoj ultrastrukturi skeletni mišići sadrže više od 5400 različitih proteina, od kojih svaki ima specifičnu ulogu u mišićnoj kontrakciji i prilagodbi (Gonzalez-Freire i sur., 2017).

Istraživanja pokazuju da vrsta trenažnog podražaja ima ključnu ulogu u oblikovanju adaptacija unutar mišićnih vlakana. Na primjer, razlike u veličini mišićnih vlakana i specifičnoj sili uočene su između *bodybuildera*, sportaša koji sudjeluju u sportovima snage i netrenirane populacije (Meijer i sur., 2015). Također, ultrastrukturalne prilagodbe se potencijalno razlikuju ovisno o tipu treninga. *Bodybuilderi* i *powerlifteri*, primjerice, pokazuju različite mišićne karakteristike, što sugerira da različiti trenažni protokoli aktiviraju specifične molekularne mehanizme unutar mišićnih stanica (Tesch i Larsson, 1982; Fitts i Widrick, 1996; Fry, 2004; Travis i sur., 2020).

Unatoč iznimnoj kompleksnosti mišićnih prilagodbi, makroskopske promjene u mišićima pružaju vrijedan uvid u procese koji se odvijaju na staničnoj razini. Povećanje poprečnog presjeka mišića može se postići na dva načina: hiperplazijom, odnosno povećanjem broja mišićnih stanica, te hipertrofijom, povećanjem veličine postojećih vlakana (Taylor i Wilkinson, 1986; Antonio i Gonyea, 1993; Gonyea i sur., 1986). S obzirom na to da je hiperplazija potvrđena isključivo na životinjskim modelima u ekstremnim uvjetima, hipertrofija je primarni mehanizam prilagodbe na trening kod ljudi.

Tradicionalni trening s otporom rezultira povećanjem poprečnog presjeka mišićnih vlakana kroz paralelno dodavanje sarkomera i miofibrila unutar vlakna. Kada je mišić izložen dovoljno velikom stimulusu, dolazi do poremećaja u strukturi miofibrila i ekstracelularnog matriksa, što aktivira signalne puteve odgovorne za sintezu proteina i povećanje broja miofibrilarnih elemenata (Toigo i sur., 2006; Wisdom i sur., 2015). S druge strane, serijska hipertrofija, koja uključuje dodavanje sarkomera u seriju, nastaje kao prilagodba na promjene u funkcionalnoj dužini mišića, primjerice imobilizacija zgloba na većim dužinama mišića rezultira povećanjem broja sarkomera serijski, dok imobilizacija zgloba u skraćenoj poziciji uzrokuje redukciju broja sarkomera serijski (Morgan i Talbot, 2002; Tabary i sur., 1972; Wisdom i sur., 2015). Važno je napomenuti da povećanje broja sarkomera serijski nije isto kao i povećanje dužine vlakana, jer se dužina vlakna može promijeniti i bez povećanja broja sarkomera serijski, odnosno na temelju povećanja dužine sarkomera (Pincheira i sur., 2022). Povećanje broja sarkomera serijski je dokazano na životinjama (Butterfield i sur., 2005; Koh i Herzog, 1998), dok je kod ljudi zbog jednostavnosti mjerenja većinom provjeravana dužina fascikula (Vianna i sur., 2021; Whiteley i sur., 2022). Dosadašnji dokazi o povećanju broja sarkomera u seriji bili su ograničeni, sve dok nedavna istraživanja nisu pokazala da ekscentrični protokol treninga izaziva povećanje broja sarkomera u mišićima stražnje strane natkoljenice (Andrews i sur., 2024). Serijska hipertrofija dovodi do smanjene dužine sarkomera, što omogućuje generiranje većih sila kod većih dužina mišića što ima značajne implikacije u sportskoj pripremi te kod treninga za prevenciju ozljeda (Hinks i sur., 2022; Hinks i sur., 2023; Zollner i sur., 2012).

Procesi prilagodbe mišićnog tkiva odvijaju se kroz ravnotežu između sinteze i degradacije proteina, pri čemu prevladavanje sinteze dovodi do hipertrofije (Figueiredo i sur., 2019; Damas i sur., 2015). Ključnu ulogu u ovom procesu imaju satelitske stanice, specijalizirane stanice smještene između bazalne membrane i sarkoleme. Aktivacijom mehaničkim podražajem, ove stanice proliferiraju i spajaju se s mišićnim vlaknima, osiguravajući dodatne jezgre potrebne za sintezu novih kontraktilnih proteina (Barton-Davies i sur., 1999; Vierck i sur., 2000; Schoenfeld, 2010). Signalni putevi poput Akt/mTOR (protein kinaza B / mehanistički cilj rapamicina), MAPK (mitogenom aktivirana proteinska kinaza) i kalcij-ovisnih mehanizama prenose informacije iz mehaničkih podražaja na stanične procese, omogućujući specifične prilagodbe u skladu s vrstom stimulusa (Egerman i Glass, 2014; Lim i sur., 2022; Campos i sur., 2002).

Razumijevanje osnovne strukture i funkcije skeletnih mišića pruža ključnu osnovu za analizu utjecaja inovativnih metoda poput istezanja između serija s otporom na mišićnu hipertrofiju i arhitekturu.

1.2. Mehanizmi rasta mišića

Razumijevanje mehanizama koji potiču rast mišića ključno je za optimizaciju trenažnih metoda i njihovih učinaka na mišićnu hipertrofiju i jakost. Ova sekcija istražuje tri glavna mehanizma – metabolički stres, oštećenje mišića i mehaničku napetost – te naglašava njihovu ulogu u procesima prilagodbe mišićnog tkiva na trening. Iako su ovi mehanizmi međusobno povezani, svaki od njih nudi jedinstven doprinos anaboličkim procesima i može biti različito naglašen ovisno o vrsti i intenzitetu trenažnog podražaja.

1.2.1. Metabolički stres

Metabolički stres odnosi se na nakupljanje nusprodukata anaerobne glikolize, uključujući vodikove ione (H^+), laktate i druge metabolite, tijekom intenzivne mišićne aktivnosti (Carey Smith i Rutherford 1995; Tesch i sur., 1986; Suga i sur., 2009). Ovaj fiziološki fenomen pod određenim uvjetima može biti snažan stimulus za mišićnu hipertrofiju, djelujući kroz nekoliko potencijalnih mehanizama. To uključuje povećanu regrutaciju mišićnih vlakana, pojačano oslobađanje anaboličkih hormona, produkciju miokina, stvaranje reaktivnih kisikovih spojeva (ROS), stanično oticanje i lokalnu hipoksiju (Behringer, Heinrich i Franz, 2025; Schoenfeld, 2010; 2013b).

Istraživanja pokazuju da je metabolički stres ključan tijekom treninga niskog intenziteta, dok ima ograničenu ulogu u vježbama visokog intenziteta (Teixeira i sur., 2021; Geng i sur., 2024). Primjerice, trening do otkaza pri niskim opterećenjima može značajno povećati hipertrofijski odgovor (Geng i sur., 2024), dok isti postupak pri visokim opterećenjima ima ograničenu ulogu. Primjerice, Lasevicius i sur. (2022) pokazali su da, kada je volumen opterećenja izjednačen, dolazi do slične hipertrofije bez obzira na razliku u broju ponavljanja u rezervi (6 ponavljanja s opterećenjem 12RM ili 12 ponavljanja s 12RM). S druge strane, Goto i sur. (2005) su u svojem istraživanju uveli 30 sekundi odmora unutar serije s opterećenjem od 10RM kako bi smanjili metabolički stres te istražili učinak na rast mišića nakon 12 tjedana. Rezultati

su pokazali da je skupina bez pauze značajno povećala poprečni presjek mišića, dok skupina s pauzom nije ostvarila sličan napredak.

Osim toga, metode poput okluzijskog treninga (eng. *Blood Flow Restriction*, BFR), koje selektivno ograničavaju venski odtok krvi iz mišića, demonstriraju da povećanje metaboličkog stresa može izazvati hipertrofiju čak i uz niska vanjska opterećenja (Suga i sur., 2009; Lixandrao i sur., 2018). Štoviše, u hipoksičnim uvjetima, trening s istim opterećenjem uz primjenu okluzije dovodi do značajno većeg rasta mišićne mase u usporedbi s treningom bez okluzije (Shinohara i sur., 1997; Takarada i sur., 2000b). Međutim, kada se BFR kombinira s velikim opterećenjem, dodatni metabolički stres ne rezultira povećanom hipertrofijom (Teixeira i sur., 2021).

U rehabilitacijskom kontekstu, metabolički stres igra važnu ulogu u očuvanju mišićne mase. Na primjer, primjena BFR metode kod pacijenata koji su vezani za krevet značajno je smanjila atrofiju mišića (Takarada i sur., 2000a), dok je sličan učinak opažen kod imobilizacije noge tijekom dvotjednog razdoblja (Kubota i sur., 2008). S obzirom na navedeno, još uvijek nije jasno u kojim uvjetima metabolički stres ima najveći utjecaj i kako se može učinkovito integrirati s ostalim mehanizmima poput mehaničke napetosti. Daljnja istraživanja potrebna su kako bi se preciznije odredio doprinos metaboličkog stresa u procesu hipertrofije.

1.2.2. Oštećenje mišića

Oštećenje mišića uključuje disrupciju ultrastrukture mišića, uključujući sarkolemu, bazalnu laminu, vezivno tkivo, citoskelet i kontraktilne elemente (Vierck i sur., 2000). Ovo stanje najčešće nastaje tijekom neuobičajenih ili visokointenzivnih vježbi, pri čemu ekscentrične mišićne akcije igraju ključnu ulogu jer uzrokuju najveće opterećenje na mišićnu strukturu (Gibala i sur., 1995; Schoenfeld, 2012).

Uzroci oštećenja mogu se povezati s nejednolikom raspodjelom sile unutar mišića, što dovodi do disrupcije najslabijih sarkomera (Allen i sur., 2005). Međutim, proces popravka ovih oštećenja često rezultira adaptacijama koje povećavaju otpornost mišića na buduće podražaje. To uključuje dodavanje sarkomera u seriji i paralelno, što jača mišićnu strukturu (Damas i sur., 2018; McHugh, 2003).

Iako ekscentrični trening izaziva robusnu hipertrofiju, nije u potpunosti jasno proizlazi li taj rast iz oštećenja ili iz veće mehaničke napetosti tijekom takvih mišićnih akcija (Schoenfeld i

sur., 2017a; Norrbrand i sur., 2008). Štoviše, hipertrofija se može dogoditi i bez značajnog oštećenja, dok aerobne aktivnosti, unatoč izazivanju oštećenja, većinom ne rezultiraju rastom mišića (Brentano i Martins Krueel, 2011). Stoga je potrebno dodatno istražiti okolnosti pod kojima oštećenje doprinosi hipertrofiji i kako se ono može optimizirati u trenažnom kontekstu.

1.2.3. Mehanička napetost

Mehanička napetost je osnovni i nezamjenjivi mehanizam za mišićni rast. Predstavlja silu koju mišić proizvodi tijekom kontrakcije, a bez nje mišićna hipertrofija nije moguća (Schoenfeld i sur., 2013a; Eftestøl i sur., 2016). Opterećivanje mišića kroz trening s otporom ili hipergravitacijske uvjete pokreće anaboličke procese, dok mirovanje i mikrogravitacija, kao u slučaju astronauta, dovode do atrofije unatoč treningu (Booth i Criswell, 1997; Trappe i sur., 2009; Tominari i sur., 2019).

Mehanička napetost djeluje kao ključni signalni podražaj koji aktivira molekularne puteve povezane s rastom mišića, poput mTOR i MAPK sustava (Boppart i sur., 2019; Glass, 2005; Schiaffino i sur., 2021). Mišići imaju specijalizirane mehanosenzore koji prepoznaju razinu sile i prenose informacije u staničnu jezgru, čime se potiče sinteza proteina. Istraživanja dosljedno potvrđuju da bez određene razine mehaničke napetosti hipertrofija nije moguća, što čini ovaj mehanizam temeljnim za sve trenažne protokole usmjerene na rast mišića (Behringer i sur., 2025; Roberts i sur., 2023).

Važno je napomenuti da ostali mehanizmi, poput metaboličkog stresa i oštećenja mišića, ovise o prisutnosti adekvatne mehaničke napetosti (Behringer i sur., 2025; Dankel i sur., 2017). Primjerice, rast mišića izazvan metaboličkim stresom će biti visok samo ako je opterećenje dovoljno veliko (Spendier i sur., 2020), dok je oštećenje mišića veće sa većim opterećenjima (Stožer i sur., 2020). Nadalje, ukoliko se volumen rada (a time i ukupna mehanička napetost) smanji zbog većeg umora izazvanog većim metaboličkim stresom, tada će i rast mišića biti kompromitiran (Schoenfeld i sur., 2017b; Longo i sur., 2022; Vieira i sur., 2021). Stoga, iako dodatni mehanizmi mogu imati aditivni učinak, mehanička napetost ostaje primarni pokretač mišićnog rasta.

1.3. Učinak volumena opterećenja na mišićni rast i jakost

U potrazi da se utvrde optimalni protokoli za rast mišića, istraživači su otkrili da je ukupni volumen opterećenja jedna od glavnih varijabli čijom promjenom možemo značajno promijeniti adaptacije mišića, uz uvjet da je intenzitet opterećenja dovoljno velik (Figueiredo i sur., 2018; Lixandrao i sur., 2024). Pod uvjetom prelaska određenog praga intenziteta koje je generalno između 30 i 50% od 1RM-a (Callegari i sur., 2024; Lasevicius i sur., 2018; Schoenfeld i Grgić, 2018), ukupni volumen opterećenja je ključna varijabla koja određuje veličinu mišićne hipertrofije. Pod tim uvjetima, druge programske varijable poput intenziteta opterećenja nisu toliko važne jer široki raspon broja ponavljanja, a time i intenziteta, uzrokuje slične poraste u mišićnoj masi ukoliko je ukupni volumen opterećenja izjednačen (Baz-Valle i sur., 2021; Carvahlo i sur., 2022; Schoenfeld i sur., 2019). Ipak, važno je napomenuti sljedeće: što je opterećenje niže to je potreba za trenutnim koncentričnim mišićnim otkazom viša (Lasevicius i sur., 2022), tako da prethodna tvrdnja vrijedi samo u slučaju ako se sve serije izvode do mišićnog otkaza. Ukoliko je sve navedeno zadovoljeno, volumen opterećenja je glavna varijabla koja se povezuje s hipertrofijom, te čijom promjenom mijenjamo i hipertrofijski odgovor. Samim time, ako se u istraživanjima provjerava određena varijabla od interesa, ukupni volumen opterećenja bi trebao biti izjednačen da bi se ta varijabla što je više moguće izolirala (Nunes i sur., 2021).

Istraživanja pokazuju da generalno postoji učinak doza-odgovor, odnosno što je veći volumen opterećenja to je mišićni rast veći (Schoenfeld i sur., 2017b). Određeni istraživači pretpostavljaju da adaptacije slijede obrnutu U krivulju, odnosno, da postoji doza volumena nakon koje se adaptacije pogoršavaju ili čak dovode u pretreniranost (Figueiredo i sur., 2018). Ipak, trenutne spoznaje su ograničene po tom pitanju te su daljnja istraživanja potrebna ne samo da se utvrdi koja je maksimalna granica volumena nakon koje adaptacije počinju opadati, već i koja je ta granica za različite populacije.

Potrebno je napomenuti da se volumenom opterećenja nastoji procijeniti količina ukupne unutarmišićne napetosti, koja se često i naziva vrijeme pod napetošću (VPN; eng. *Time under tension*), te je trenutno ukupni volumen opterećenja (koji se najčešće računa kao produkt broja serija, broja ponavljanja i opterećenja) najpreciznija metoda procjene koja ima svoja ograničenja (Nunes i sur., 2021). Primjerice, različite vježbe zbog korištenja različitih opterećenja mogu imati uvelike različit volumen opterećenja, a unutarmišićna napetost može biti slična. S druge strane, osnovna vježba (višezglobna vježba koja aktivira veći broj mišića,

posebno stabilizatora) koja naizgled omogućuje veći volumen nego neka izolirajuća vježba može proizvesti slabiji hipertrofijski odgovor u odnosu na vježbu s manjim volumenom jer prava unutarmišićna napetost nije kvantificirana.

Za adaptacije jakosti najvažnija varijabla je intenzitet (Carvahlo i sur., 2022; Kubo i sur., 2021), dok je volumen sekundaran. Ipak, čini se da i za adaptacije jakosti postoji doza-odgovor, odnosno treninzi s otporom većeg volumena opterećenja generalno povećavaju jakost više od treninga manjih volumena, posebice kod trenirane populacije (Ralston i sur., 2017; Radaelli i sur., 2015).

1.3.1 Odnos volumena opterećenja i vremena pod napetošću

Bez kvantifikacije vremena pod napetošću (VPN), volumen opterećenja kao prediktor hipertrofije može biti zavaravajući. Promjene u tempu izvođenja pokreta utječu na broj ponavljanja u jednoj seriji (Sakamoto i Sinclair, 2006), trajanje vremena pod napetošću (Wilk i sur., 2018) te na jedno maksimalno ponavljanje (1RM) (Headley i sur., 2011). Neka istraživanja pokazuju da se broj mogućih ponavljanja smanjuje kako se ukupno trajanje svakog ponavljanja namjerno povećava pri korištenju istog opterećenja (Wilk i sur., 2018). S obzirom na međusobni odnos tempa pokreta, broja ponavljanja i VPN, ti parametri nisu međusobno isključivi, već međusobno utječu jedni na druge (Tran i Docherty, 2006; Wilk i sur., 2021). Stoga promjena tempa pokreta može indirektno modificirati opterećenje, broj ponavljanja, ali i fiziološki odgovor, uključujući koncentraciju hormona ili laktata u krvi (Rogatzki i sur., 2014; Tanimoto i Ishii, 2006).

Kada se trenažni volumen računa kao umnožak broja serija, broja ponavljanja i opterećenja, sporiji tempo pokreta smanjuje maksimalan broj izvedivih ponavljanja u usporedbi s bržim tempom (Sakamoto i Sinclair; Wilk i sur., 2021). U tom kontekstu veći broj ponavljanja u bržem protokolu, a time i veći volumen, nije ekvivalentan većem vremenu pod napetošću, odnosno proizvodu broja ponavljanja i trajanja svakog ponavljanja. Povećanje bilo vremena pod napetošću ili volumena opterećenja pojačava akutni odgovor zamora, čak i kada je volumen izjednačen (Tran i Docherty, 2006). Potencijalne razlike u trenažnom odgovoru mogu nastati kada trenažni parametri ne kontroliraju istovremeno volumen opterećenja i VPN. Istraživanja ukazuju da je glavni uzročnik mišićnog umora, pri izjednačenom volumenu opterećenja, upravo vrijeme pod napetošću (Tran i Docherty, 2006). Isto tako, kronične

adaptacije su slične kada je vrijeme pod napetošću identično, čak i ako je volumen opterećenja različit između protokola (Martins-Costa i sur., 2021; Wilk i sur., 2021).

Međutim, ne može se sva stimulacija pripisati isključivo vremenu pod napetošću, jer isto vrijeme pod napetošću pri istom opterećenju može inducirati različite unutarmišićne odgovore. Ako se pretpostavi da je mehanički podražaj ključan za razvoj i održavanje mišićne mase te da mišić može detektirati promjene u razini generirane sile, povećanje napetosti mišića koje nastaje primjenom veće sile pri svakom ponavljanju predstavlja važan čimbenik u poticanju živčano-mišićnih adaptacija. Kraće trajanje ponavljanja u treningu s otporom dovodi do bržeg izvođenja pokreta i većih akceleracija, što zahtijeva veće vršne sile pri svakom ponavljanju (Martins-Costa i sur., 2019). Osim toga, fokus pažnje može modulirati aktivaciju mišića i hipertrofijski odgovor (Schoenfeld i sur., 2018; Snyder i Fry, 2012; Snyder i Leech, 2009), pa trajanje napetosti nije nužno najprecizniji pokazatelj jačine stimulusa.

Unatoč tome, pod pretpostavkom da su brzina izvođenja, fokus pažnje i opterećenje konstantni, ukupno vrijeme pod napetošću mišića vjerojatno predstavlja glavni pokretač hipertrofijskih adaptacija. Ukupna stimulacija mišića i promjene u unutarmišićnom okolišu ključne su za akutni odgovor i kronične adaptacije, što naglašava važnost razmatranja ukupnog trenažnog volumena u kontekstu kvantifikacije vremena pod napetošću.

1.4. Aktivna i pasivna napetost

Razumijevanje aktivne i pasivne mišićne napetosti ključno je za dublje shvaćanje mehanizama koji omogućuju mišićnu adaptaciju na trening. Ove dvije vrste napetosti predstavljaju temeljne fiziološke procese koji sudjeluju u stvaranju sile i prijenosu opterećenja unutar mišića te igraju važnu ulogu u hipertrofijskom odgovoru.

1.4.1. Aktivna napetost

Aktivna napetost generira se unutar mišićnih vlakana kroz interakciju kontraktilnih proteina aktina i miozina unutar sarkomere. Ovaj proces je izravno povezan sa živčanom aktivacijom, pri čemu središnji živčani sustav modulira angažman motoričkih jedinica kako bi prilagodio silu potrebnu za savladavanje vanjskog opterećenja. Specifičnost aktivne napetosti ogleda se u različitim sposobnostima mišića da proizvodi silu tijekom skraćivanja (koncentrične mišićne

akcije) i izduživanja (ekscentrične mišićne akcije). Ekscentrične mišićne akcije omogućuju proizvodnju veće sile, djelomično zahvaljujući ulozi proteina titina, koji tijekom aktivnog izduživanja povećava svoju krutost te time daje dodatan otpor izduživanju (Franchi i sur., 2017).

Kapacitet za stvaranje aktivne sile ovisi o brojnim faktorima, uključujući veličinu i dužinu mišićnih vlakana, arhitekturu mišića, tip vlakana, broj poprečnih mostova između aktina i miozina, odnos sile i brzine, $V_{\max}$ vlakna, kalcijevu osjetljivost (pCa^{2+}), frekvenciju aktivacije motoričkih jedinica te biomehaničke poluge (Fitts i sur., 1991). Ovi čimbenici zajednički oblikuju sposobnost mišića da odgovori na različite zahtjeve, čineći aktivnu napetost ključnim elementom mehaničkog opterećenja.

1.4.2. Pasivna napetost

Pasivna napetost nastaje kada se mišić isteže bez aktivne kontrakcije. Ova sila rezultat je viskoelastičnih svojstava mišića, pri čemu glavnu ulogu imaju izvanstanični matriks (eng. *Extracellular matrix*) i protein titin. Izvanstanični matriks, koji se sastoji uglavnom od kolagena i proteoglikana, organiziran je u tri sloja: epimizij, perimizij i endomizij. Ovi slojevi pružaju strukturnu podršku i osiguravaju prijenos sile između mišićnih vlakana i tetiva (Borg i Caulfield, 1980; Brightwell i sur., 2022; Meyer i Lieber, 2011).

Titin, najveći protein u ljudskom tijelu, proteže se od Z-diska do M-linije sarkomere. Njegova elastična svojstva omogućuju otpor istezanju, pri čemu se krutost povećava s duljinom istezanja (Hessel i sur., 2017). Tijekom pasivnog istezanja, titin se opire tek pri većim razinama deformacije, dok kod aktivnog izduživanja njegova krutost raste zahvaljujući skraćanju I-band regije, čime doprinosi većim silama koje se generiraju tijekom ekscentričnih mišićnih akcija (Nishikawa i sur., 2020). Ovaj složeni odnos između aktivnih i pasivnih komponenti ključan je za razumijevanje prijenosa sile i adaptivnih odgovora mišića na trening.

1.4.3. Uloga aktivne i pasivne napetosti u hipertrofiji

Aktivna i pasivna napetost djeluju na različitim razinama mišićne strukture i zajedno doprinose signalizaciji potrebnoj za mišićni rast. Pasivna napetost, osobito kroz djelovanje izvanstaničnog matriksa i titina, igra ulogu u moduliranju serijske i paralelne hipertrofije

izazvane istezanjem (van der Pijl i sur., 2018; 2020). Signali iz izvanstaničnog matriksa osiguravaju enzimsku, biokemijsku i mehaničku podršku, dok titin svojim elastičnim svojstvima pridonosi signaliziranju mehaničkog opterećenja unutar mišića (Brightwell i sur., 2022; Brynnel i sur., 2018).

Što je istezanje intenzivnije to se teoretski povećava opiranje izvanstaničnog matriksa i titina, čime se potencijalno pojačava hipertrofijski odgovor (Apostolopoulos i sur., 2015). Ova hipoteza temelji se na pretpostavci da mišić reagira na „prijetnju” izazvanu povećanim intenzitetom istezanja, jačanjem svoje ultrastrukture kako bi izbjegao ozljede u budućnosti (Panidi i sur., 2023). Stoga, veći intenzitet istezanja, zbog snažnijeg opiranja izvanstaničnog matriksa i titina, vjerojatno potiče anaboličku signalizaciju, što dovodi do prilagodbi poput povećanja dužine mišićnih vlakana. Na taj način omogućuje se stvaranje veće sile pri većim duljinama mišića te bolje toleriranje istezanja pri istim silama. Osim toga, povećanje veličine mišića, kao rezultat povećanja debljine mišićnih vlakana, omogućuje ravnomjerniju raspodjelu sile i učinkovitije podnošenje istezanja (Cooper i sur., 2021; Kruse i sur., 2021). Osim toga, veći volumen istezanja teoretski ima sličan učinak. Drugim riječima, što je dulje prisutno dovoljno intenzivno istezanje, to su ukupna sila i trajanje napetosti veći, čime se povećava potencijal za mikrooštećenja mišića. Kako bi se ubuduće smanjio rizik od takvih oštećenja, mišić mora adaptirati svoju ultrastrukturu, primjerice povećanjem duljine ili poprečnog presjeka vlakana, čime se osigurava veća otpornost na slični podražaj. S obzirom na to da je povećanje dužine vlakana potrebno do određene granice da bi se povećala mogućnost produkcije sile u krajnjem opsegu pokreta, nakon određenog povećanja dužine vlakana (pod pretpostavkom da se došlo do maksimalno moguće ekscurzije zgloba), ostatak hipertrofije se očekuje povećanjem veličine vlakna jer to omogućuje veću produkciju i „toleranciju” sile (Davis i sur., 2020; Hinks i sur., 2023; Russel i sur., 2000).

Na temelju prethodno iznesenih spoznaja razvijena je teorijska pretpostavka da kombinacija pasivne i aktivne napetosti može pružiti dodatni stimulativni podražaj. Ta je pretpostavka poslužila kao osnova za ovo istraživanje, čiji je cilj ispitati učinke kombinacije tradicionalnog treninga s opterećenjem i istezanja pod opterećenjem. Nadalje, određeni znanstvenici sugeriraju da bi istezanje neposredno nakon vježbanja s otporom moglo potaknuti rast mišića zbog povećanog nakupljanja metaboličkog stresa (Mohamad i sur., 2011). Pretpostavlja se da istezanje može ograničiti dotok krvi u mišić i stvoriti ishemijske uvjete, što je potencijalno povezano s intenzitetom istezanja (Astrom i Westlin, 1994; Kruse i sur., 2016). Dodatno, istezanje neposredno nakon serije moglo bi potencijalno povećati metabolički stres u usporedbi

s odmakom između istezanja i vježbanja. Padilha i sur. (2019) zaključili su da pasivno istezanje nakon serije ne povećava metabolički stres, već izaziva veći živčano-mišićni umor. Međutim, budući da je istezanje pod opterećenjem znatno intenzivnije od pasivnog istezanja, pretpostavka o neučinkovitosti pasivnog istezanja u povećanju metaboličkog stresa možda se ne može izravno primijeniti na ISO.

1.5. Regionalna hipertrofija

S obzirom na to da mišić pokazuje neuniforman rast na različite protokole (Nunes i sur., 2023; Zabaleta-Korta i sur., 2020; Zabaleta-Korta i sur., 2021), potrebno je mjeriti veličinu mišića na više mjesta kako bi se dobila što bolja slika o adaptacijama koje određeni protokol donosi. Primjerice, dokazano je da različite vježbe za istu mišićnu skupinu dovode do preferencijalnog rasta drugih glava unutar te mišićne skupine (Brandao i sur., 2020; Matta i sur., 2017; Wakahara i sur., 2013). Osim toga, utvrđeno je da unutar iste vježbe različiti opseg pokreta preferencijalno uzrokuje rast različitih mjesta na mišiću (Sato i sur., 2021). Nadalje, čak i tip kontrakcije (je li izvedena samo koncentrična ili ekscentrična faza pokreta) mijenja regionalnu hipertrofiju (Benford i sur., 2021; Franchii i sur., 2014; Walker i sur., 2020). Stoga, od presudne je važnosti utvrđivati debljinu mišića na više mjesta jer rezultati, a time i zaključci istraživanja, mogu biti uvelike različiti u usporedbi s mjerenjem samo jednog mjesta na mišiću (Nunes i sur., 2023). Primjerice, da su u istraživanju Zabaleta-Korta i sur. (2023) mjerenja provedena samo na jednom mjestu mišića, što je najčešće sredina mišića, zaključak bi bio da nema razlike između vježbi i da niti jedna od njih ne potiče rast mišića. Međutim, istraživanje je pokazalo da pregib lakta na Skotovoj klupi inducira veći rast *bicepsa brachii* u distalnom dijelu (70% dužine nadlaktice) u odnosu na pregib lakta na kosoj klupi. Da regionalna hipertrofija nije uzeta u obzir, rezultati bi bili nepotpuni, pa čak i zavaravajući.

Stoga bi buduća istraživanja trebala provoditi mjerenja debljine mišića na više točaka unutar svake mišićne skupine kako bi se što preciznije identificirale potencijalne razlike između primijenjenih metoda.

1.6. Utjecaj istezanja na mišićni rast

Razumijevanje uloge istezanja u kontekstu mišićnog rasta značajno se unaprijedilo tijekom posljednjih desetljeća. Tradicionalno, istezanje se smatralo alatom za povećanje fleksibilnosti i opsega pokreta, dok se njegov potencijalni utjecaj na mišićnu hipertrofiju često zanemarivao ili čak percipirao negativno. Ranija istraživanja su pokazala da statičko istezanje neposredno prije treninga s otporom može negativno utjecati na izlaznu jakost i ukupni volumen treninga, čime se posljedično može smanjiti dugoročni rast mišića (Chaabene i sur., 2019; Junior i sur., 2017; Simic i sur., 2013).

Kronična primjena istezanja prije treninga može dodatno umanjiti adaptacije, osobito ako smanjuje izvedbu tijekom treninga (Barrosso i sur., 2012; De Camargo i sur., 2022). Ipak, ako se istezanje koristi kao poseban trening, ako nije provedeno neposredno prije određene vježbe te ako je u sklopu svaobuhvatnog zagrijavanja, tada će negativan učinak izostati (Behm i Chaouachi, 2011; Kubo i sur., 2002; Taylor i sur., 2009). Sve je više dokaza koji ukazuju na to da istezanje može imati pozitivan učinak na mišićnu hipertrofiju (Arntz i sur., 2024; Warneke i sur., 2024). Štoviše, studije provedene na životinjama dosljedno pokazuju povezanost intenzivnog istezanja s rastom mišića, pri čemu istezanje aktivira signalne puteve koji potiču sintezu proteina i prilagodbe ultrastrukture mišića slične onima koji se aktiviraju primjenom treninga s otporom (Bodine i sur., 2001; Goldspink, 1999; Sasai i sur., 2010).

Studije provedene na životinjama često pružaju uvide u ekstremne hipertrofijske odgovore (Alway i sur., 1989; Alway i sur., 1990; Antonio i Gonyea, 1993). Na primjer, prisilno istezanje mišića pomoću opterećenja na udovima rezultiralo je povećanjem mišićne mase od preko 300% u prepelica (Antonio i Gonyea, 1993). Ipak, metodologija istraživanja na životinjama često uključuje postavljanje uređaja ili utega na udove, čime se ciljani mišić dovodi u istegnutu poziciju. Međutim, ostaje nejasno proizlazi li zabilježena hipertrofija iz samog istezanja, kontrakcije mišića koja se opire prisilnom istezanju, ili kombinacije ovih čimbenika. Stoga, navedeni protokoli imaju sličnosti s ekscentričnim mišićnim akcijama kod ljudi te nije jasno bi li takav protokol kod ljudi izazvao hipertrofiju zbog aktivnog opiranja istezanju kao što je slučaj kod ekscentričnih akcija, ili zbog pasivnog opiranja istezanju (Warneke i sur., 2023a).

Kada su slični protokoli primijenjeni na denervirane mišiće ptica, istezanje je dovelo do značajne paralelne hipertrofije, potvrđujući da čak i pasivna mehanička napetost može izazvati rast mišića bez živčane aktivacije (Sola i sur., 1973). Ova zapažanja ukazuju na to da

mehanička napetost na miofibrilima, bilo aktivna ili pasivna, predstavlja temeljni uvjet za pokretanje hipertrofijskih adaptacija (Ashmore, 1982; Ren i sur., 2018).

Iako istezanje može izazvati promjene u debljini mišićnih vlakana, adaptacije dosežu plato ako se intenzitet ili volumen istezanja ne povećavaju proporcionalno rastu mišića (Barnett i sur., 1980). Ovaj fenomen pripisuje se smanjenju napetosti po sarkomeri zbog longitudinalnog dodavanja novih sarkomera (Barnett i sur., 1980; Devol i sur., 1990). Ovi nalazi potvrđuju važnost progresivnog povećanja intenziteta kako bi se održao adaptivni odgovor mišića.

Dok su studije provedene na životinjama otkrile značajan potencijal istezanja za rast mišića, novija istraživanja na ljudima sugeriraju slične koristi. Međutim, brojna pitanja ostaju neodgovorena, što naglašava potrebu za daljnjim istraživanjima usmjerenima na identificiranje optimalnih protokola za integraciju istezanja u trening s otporom, posebno u kontekstu povećanja mišićne mase u različitim populacijama.

1.7. Utjecaj istezanja na mišićnu hipertrofiju i jakost

Studije provedene na životinjama često pružaju uvid u ekstremne hipertrofijske odgovore inducirane istezanjem (Alway i sur., 1989; Alway i sur., 1990; Antonio i Gonyea, 1993). Brojna istraživanja zabilježila su značajne promjene u veličini mišića, duljini i broju mišićnih vlakana kao odgovor na istezanje. Za detaljniji pregled korištenih protokola čitatelji se upućuju na pregled literature (Warneke i sur., 2022). Ukupno gledano, navedena istraživanja upućuju na to da veći volumeni i intenziteti istezanja dovode do snažnijih adaptacija, što je imalo ključnu ulogu u poticanju primjene različitih protokola istezanja kod ljudi. Istraživanja na ljudima ključna su za razumijevanje stvarnog potencijala istezanja kao metode za poticanje mišićnog rasta i jakosti. Iako su studije na životinjama pružile značajne uvide u mehanizme putem kojih istezanje može inducirati hipertrofiju, prijenos tih nalaza na ljude donosi složenije izazove. Faktori poput intenziteta, trajanja i volumena istezanja, ali i razine treniranosti ispitanika, značajno utječu na rezultate. Ovaj pregled razmatra ključne nalaze iz istraživanja na ljudima i analizira razlike u rezultatima kroz prizmu metodoloških varijacija.

Rani radovi pokazali su da primjena statičkog istezanja neposredno prije treninga s otporom može negativno utjecati na jakost i hipertrofiju, prvenstveno smanjenjem ukupnog volumena opterećenja (Barroso i sur., 2012; Nelson i sur., 2005). Razlozi za ove negativne učinke uključuju smanjenje elektromiografske (EMG) aktivnosti, oslabljene refleksne mehanizme i

smanjenje krutosti fascikula (Behm i sur., 2021; Chaabene i sur., 2019). Međutim, novije spoznaje upućuju na to da statičko istezanje može imati neutralne, a u određenim okolnostima i pozitivne učinke na mišićne adaptacije kada se primjenjuje kao zaseban oblik treninga. Nunes i sur. (2020) u svom su pregledu literature utvrdili da statičko istezanje nema značajan učinak na mišićnu hipertrofiju. Međutim, većina istraživanja uključenih u taj pregled koristila je relativno nizak volumen i intenzitet istezanja. Nasuprot tome, novija istraživanja provedena nakon 2020. godine, inspirirana eksperimentalnim studijama na životinjama koje su primjenjivale visoke volumene istezanja (od 15 minuta dnevno do čak 24 sata dnevno kroz više tjedana), pokazala su izraženije i robusnije adaptacije (Warneke i sur., 2023a; 2023b; 2023c; 2023d).

Suvremeni pregledi literature (Arntz i sur., 2023; Arntz i sur., 2024) dodatno potvrđuju blage, ali konzistentne pozitivne učinke istezanja na povećanje mišićne jakosti i hipertrofije. Jedan od ključnih nalaza tih istraživanja jest da veći volumeni istezanja dovode do izraženijih promjena u rastu i jakosti mišića. Nadalje, studije koje bilježe najizraženije adaptacije često uključuju i visoki intenzitet istezanja, što sugerira da se povećanjem volumena i intenziteta generalno pojačava i adaptacijski odgovor (Warneke i sur., 2023). Primjerice, Wohlann i sur. (2023) nisu utvrdili značajne promjene u mišićnoj hipertrofiji nakon petominutnog dnevnog istezanja, dok su Warneke i sur. (2022) zabilježili značajne poraste mišićne mase kod ispitanika koji su istezali plantarne fleksore jedan do dva sata dnevno tijekom šest tjedana.

Serijska istraživanja Warneke i sur. (2023a; 2023b; 2023c; 2023d) na rekreativno aktivnoj populaciji dodatno je potvrdila ove pretpostavke, pokazavši da kontinuirano istezanje plantarnih fleksora tijekom jednog sata dnevno može izazvati slične adaptacije kao i trening s otporom. Njihovi rezultati sugeriraju da su ekstremni volumeni istezanja učinkoviti, ali praktično ograničeni, jer kraći protokoli treninga s opterećenjem često pružaju slične koristi.

Povećanje intenziteta istezanja također pokazuje potencijal za povećanje jakosti, hipertrofije i vremenske učinkovitosti treninga kod ljudi. Wohlann i sur. (2024) su koristili automatiziranu traku za kontrolu i modulaciju napetosti tijekom istezanja mišića *pectoralis major*, čime su osigurali maksimalnu nelagodu tijekom cijelog trajanja istezanja te su uspoređivali navedeni protokol (4 puta tjedno po 15 minuta istezanja kroz 8 tjedana) s treningom s otporom koji se provodio 3 puta tjedno na populaciji tjelesno aktivnih studenata. Specifičnije, remen je bio pričvršćen oko lakatnog zgloba te je bio spojen s pretvaračem sile. S obzirom na to da opuštanjem mišića napetost pada, traka se konstantno automatski zatezala da bi se neutralizirao

mehanički gubitak napetosti. Njihovi rezultati pokazali su da su učinci intenzivnog istezanja usporedivi s tradicionalnim treningom s opterećenjem, što ukazuje na potencijalno ključnu ulogu intenziteta istezanja u poticanju mišićnih adaptacija.

Osim porasta mišićne mase i jakosti, statičko istezanje također može utjecati na promjene u arhitekturi mišića, poput duljine fascikula i kuta penacije. Veća duljina fascikula omogućuje stvaranje veće sile kod većih duljina mišića, što je već detaljnije opisano ranije, dok veći kut penacije omogućuje nagomilavanje više kontraktilnog materijala unutar mišića i time veću proizvodnju sile (Lieber, 2022). Panidi i sur. (2021) zabilježili su značajno povećanje duljine fascikula u mišićima *gastrocnemius lateralis* i *gastrocnemius medialis* kod adolescentnih odbojkašica koje su provodile program istezanja u trajanju od 540 do 900 sekundi tjedno tijekom 12 tjedana. S druge strane, Simpson i sur. (2017) utvrdili su povećanje debljine mišića te duljine fascikula uz smanjenje kuta penacije u mišiću *gastrocnemius lateralis*, ali bez promjena u mišiću *gastrocnemius medialis*, nakon primjene metode istezanja s otporom od 20% maksimalne voljne kontrakcije (MVC). Ovi rezultati upućuju na mogućnost diferenciranih adaptacija između različitih glava istog mišića pri istezanju s opterećenjem, iako uzroci tih razlika zasad nisu potpuno razjašnjeni.

Ipak, metodologija istraživanja Simpsona i sur. (2017) bila je predmet kritike drugih autora (Nunes i sur., 2018), osobito zbog razlika u početnom stanju ispitanika između skupina, načina statističke obrade podataka, vremenskog odmaka između završetka intervencije i mjerenja debljine mišića te izostanka izvještavanja o veličini promjene u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini. Stoga su dobiveni rezultati djelomično upitni.

Nadalje, meta-analiza Panidi i sur. (2023) pokazala je samo trivijalne promjene u duljini fascikula, bez značajnih promjena kuta penacije kao odgovor na protokole istezanja. Slijedom toga, potrebna su dodatna istraživanja kako bi se preciznije utvrdio utjecaj specifičnih protokola istezanja na arhitekturu skeletnih mišića.

Istraživanja na ljudima pružila su mješovite rezultate o učincima istezanja na mišićni rast, jakost i arhitekturu. Dok ekstremno visoki volumeni i intenziteti istezanja mogu inducirati značajne adaptacije, njihova praktična primjenjivost ostaje upitna. Buduća istraživanja trebala bi se fokusirati na optimizaciju trajanja i intenziteta istezanja kako bi se postigli slični učinci uz manji vremenski angažman. Integracija kontroliranih protokola istezanja s tradicionalnim treningom s otporom mogla bi pružiti dodatne prilike za unapređenje mišićne adaptacije.

1.8. Metoda istezanja s otporom između serija

S obzirom na sve veće zahtjeve za optimizacijom vremena provedenog u treningu s otporom i maksimizacijom rezultata, metoda istezanja s otporom između serija (ISO; eng. *Inter-Set Stretching*) nameće se kao potencijalno inovativno rješenje. Ova metoda kombinira tradicionalni trening s otporom s dodatnim intenzivnim istezanjem tijekom pauza između serija, čime se hipotetski produžuje vrijeme pod napetošću i povećava ukupni stimulativni učinak na mišiće (Schoenfeld i sur., 2022). Time se otvara mogućnost dodatnog rasta mišića i povećanja mišićne jakosti, što su ključni ciljevi kako u sportu tako i u rehabilitaciji i kondicijskoj pripremi.

Osnovna ideja ISO-a je da se neposredno nakon završetka radne serije ciljane mišićne skupine mišići istegnu pod opterećenjem, dok su još umorni od prethodnog rada. Na taj način dolazi do produženja mehaničke napetosti, jednog od ključnih faktora za mišićnu hipertrofiju, a potencijalno se aktiviraju i različiti mehanosenzori u mišićnim vlaknima, koji prepoznaju sile generirane kontrakcijom i istezanjem (Schoenfeld i sur., 2022). Ova metoda se oslanja na teorijski okvir prema kojem aktivna i pasivna napetost imaju komplementarne uloge u poticanju adaptacija mišićnog tkiva, što potencijalno dodatno može povećati mišićne adaptacije.

Unatoč obećavajućoj teorijskoj osnovi, dosadašnja istraživanja koja su ispitivala učinkovitost ISO-a pokazala su neujednačene rezultate. Silva i sur. (2014) bili su prvi koji su istraživali učinak ISO-a, zabilježivši dvostruko veće povećanje debljine mišića *gastrocnemius* ($23 \pm 5,0$ % prema $9 \pm 4,8$ %) u ISO skupini u usporedbi s kontrolnom skupinom. U njihovom protokolu sudionici su izvodili četiri serije po dvanaest ponavljanja, dva puta tjedno tijekom pet tjedana, pri čemu je kontrolna skupina između serija držala opterećenje u neutralnom položaju, dok je eksperimentalna skupina održavala istegnutu poziciju.

S druge strane, istraživanja Evangelista i sur. (2019) te Nakamure i sur. (2021) nisu utvrdila statistički značajne razlike između istezanja između serija bez opterećenja i tradicionalnog pristupa koji uključuje pasivnu pauzu tijekom intervala odmora. Ipak, njihove eksperimentalne skupine pokazale su trend blago većeg povećanja mišićne mase i jakosti u odnosu na kontrolne skupine.

Jedan od razloga ovih razlika leži u značajnim metodološkim varijacijama i drugačijoj primjeni ISO. Silva i sur. (2014) su koristili ISO sa jednakim opterećenjem s kojim su završili radnu

seriju, dok su Evangelista i sur. (2019) i Nakamura i sur. (2021) koristili statičko istezanje. Stoga, moguće je da statičko istezanje nije bilo dovoljnog intenziteta da bi proizvelo značajan učinak.

Nadalje, Wadhi i sur. (2021) koristili su 15% od radnog opterećenja tijekom istezanja te su istezanje izvodili na drugoj vježbi (s potiska s ravne klupe se prelazilo na držanje istezanja pod opterećenjem na vježbi privlačenje na trenažeru sa sajlama), što se pokazalo nedovoljnim za značajan stimulativni učinak. Uz to, određeni istraživači komentiraju da je prelazak s jedne vježbe na drugu zahtijevao određeni vremenski razmak između završetka serije i početka istezanja što je potencijalno moglo utjecati na rezultate (Schoenfeld i sur., 2022). Nasuprot tome, Van Every i sur. (2022) primijenili su ISO jednakim opterećenjem s kojim se izvodila radna serija, neposredno nakon završetka radne serije i zabilježili preferencijalni rast mišića *soleus* u eksperimentalnoj skupini, no bez postizanja statističke značajnosti, dok rast mišića *gastrocnemius* nije bio različit između skupina. Ovi rezultati podržavaju hipotezu da ISO može izazvati selektivnu regionalnu hipertrofiju ovisno o specifičnostima mišićne arhitekture i primijenjenom protokolu. Osim toga, čini se da je primjena vanjskog opterećenja nužna kako bi navedena metoda bila učinkovita, dok granica intenziteta odnosno razina opterećenja potrebna za poticanje dodatnih mišićnih adaptacija još uvijek nije jasno utvrđena.

Uz to, ISO s primjenom radnog opterećenja do sada je istraživao isključivo na mišićima potkoljenice (*triceps surae*), dok njegov učinak na druge mišićne skupine još uvijek nije razjašnjen. Wadhi i sur. (2021) primijenili su opterećenje od 15% radnog opterećenja u drugoj vježbi tijekom protokola, što sugerira da navedeni intenzitet vjerojatno nije bio dovoljan da potakne značajan hipertrofijski odgovor.

Stoga, nije u potpunosti poznato kako ključni parametri poput intenziteta opterećenja, trajanja istezanja i vrste vježbi, utječu na učinkovitost metode. Ovo istraživanje nastoji proširiti trenutno znanje implementacijom ISO-a na različite mišićne skupine i fokusom na primjenu istezanja neposredno nakon završetka serije uz korištenje jednakog opterećenja s kojim se izvodila radna serija, čime se metoda čini praktičnom i lako primjenjivom u raznim okruženjima. Dosadašnja istraživanja koja su provjeravale učinak istezanja između serija na hipertrofiju i jakost te programi treninga koji su korišteni su prikazani u tablici 1.

Uz potencijal za povećanje mišićne mase, ISO bi mogao utjecati i na arhitekturu mišića. Naime, istraživanja pokazuju da statičko istezanje može promijeniti duljinu vlakana i kut penacije (Panidi i sur., 2021; Simpson i sur., 2017). Iako su promjene većinom trivijalne (Panidi i sur.,

2023), istezanje pod opterećenjem bi potencijalno moglo proizvesti veće i distinktno promjene u odnosu na statičko istezanje. Za detaljniji uvid u karakteristike trenažnih programa koji su provedeni u cilju utvrđivanja učinka istezanja na arhitekturu mišića čitatelji se upućuju na pregled literature (Panidi i sur., 2023). Povećanje duljine vlakana karakteristično je za protokole koji uključuju ekscentrične mišićne akcije jer one uzrokuju veće naprezanje sarkomera u usporedbi s koncentričnim mišićnim akcijama (Davis i sur., 2020; Geremia i sur., 2019; Herzog i Fontana, 2022). S obzirom na to da istezanje pod opterećenjem dijeli određene sličnosti s ekscentričnim treninzima, pri čemu nije jasno prisutna aktivacija mišića tijekom ISO-a, niti njezina jačina, moguće je da ove metode induciraju slične adaptacije. Stoga je ovo prvo istraživanje koje nastoji utvrditi promjene u arhitekturi mišića kao odgovor na protokol ISO-a. Budući da promjene arhitekture mišića igraju ključnu ulogu u njihovoj funkciji i potencijalu za daljnju adaptaciju, istraživanje ISO-a u ovom kontekstu ima važne implikacije za sportsku praksu i rehabilitaciju.

Važnost ove metode leži i u mogućnosti njene implementacije bez dodatnih uređaja, što je čini dostupnom i primjenjivom u različitim uvjetima treninga. S obzirom na dosadašnje nejasnoće u vezi s učinkovitošću ISO-a, ovo istraživanje ima za cilj testirati ne samo kako različiti parametri utječu na hipertrofiju i jakost, već i kako ova metoda može biti prilagođena različitim mišićnim skupinama i uvjetima treninga. Dobiveni rezultati trebali bi pružiti nove uvide u fiziološke mehanizme koji stoje iza ISO-a te unaprijediti znanstvene i praktične smjernice za njegovu primjenu.

Tablica 1: Pregled dosadašnjih istraživanja utjecaja istezanja između serija na jakost i hipertrofiju.

ISTRAŽIVANJE	ISPITANICI	DIZAJN	TRENING	TRAJANJE ISTEZANJA	TRAJANJE INTERVENCIJE	MJERENJE JAKOSTI	MJERENJE DEBLJINE (SPECIFICIRANO ZA MIŠIĆNE SKUPINE KORIŠTENE U OVOM ISTRAŽIVANJU)	REZULTATI
Souza i sur., 2013	trenirani, minimalno 2 godine iskustva u treningu s otporom	između ispitanika	4x8 po vježbi, pauza 2 minute	30 sekundi, bez opterećenja , blaga nelagoda	8 tjedana, 3x tjedno	8RM	/	nema razlika u jakosti

Silva i sur., 2014	rekreativno aktivni studenti	unutar ispitanika	4x12, na spravi za nožni potisak, 1. serija 90% 1RM, ostale tri se na svakoj seriji smanjivalo opterećenje za 15%. Pauza između serija 30 sekundi gdje je kontrolna noga držala opterećenje u neutralnoj poziciji, a eksperimentalna u istegnutoj	30 sekundi, isto opterećenje	5 tjedana, 2x tjedno	nije specificirano	gastrocnemius, mjesto nije specificirano	DEBLJINA MIŠIĆA: ISO vs CON (+23±5.0 vs. +9 ±4.8 mm) značajna interakcija grupa x vrijeme* . JAKOST: ISO vs CON +49,7 vs +37,1%
Evangelista i sur., 2019	sedentarni odrasli	između ispitanika	4x8-12 po vježbi s 90 sekundi odmora između serija	30 sekundi, bez opterećenja , definiran kao maksimalan opseg pokreta bez boli	8 tjedana, 2x tjedno	1RM potisak s ravne klupe i ekstenzija koljena	Biceps i triceps-60% udaljenosti acromion-lateralni epikondil humerusa; vastus lateralis i rectus femoris	DEBLJINA MIŠIĆA: biceps ISO-7,2%, CON-4,7%; triceps ISO-12,3%, CON-7,1%; rectus femoris ISO-12,4%, CON-9,1%; vastus lateralis ISO-17%, CON-7,3% značajna interakcija grupa x vrijeme* ; SUMA ISO-10,5%, T-6,7% značajna interakcija grupa x vrijeme* . JAKOST: ISO vs CON potisak s klupe 23,4 vs 22,2%; ekstenzija koljena 25,5 vs 20,6%
Nakamura i sur., 2021	netrenirani odrasli	unutar ispitanika	3x10 bilateralni čučanj na flywheel uređaju. Pauza 180 sekundi u kojoj je eksperimentalni uvjet izvodio pasivno istezanje trajanja 30 sekundi između 1. i 2. te 2. i 3. serije	30 sekundi, bez opterećenja maksimalnim intenzitetom koji se može tolerirati	5 tjedana, 2x tjedno	1RM unilateralni nožni potisak/ ekstenzija koljena izometrija vršni moment, izokineti ka vršni moment	kvadriceps, hamstrings i gluteus	izometrička jakost veća kod ISO (15,4 vs 8,5%)* , sve ostalo identično
Wadhi i sur., 2021	trenirani, minimalno 3 godine iskustva u treningu s otporom	između ispitanika	potisak na kosoj i ravnoj klupi, 3-5x4-10 ovisno o tjednu i trenažnom danu. Pauza između serija 2 minute, između vježbi 3 minute.	30 sekundi, 15% od opterećenja radne serije na drugoj vježbi (privlačenje na trenažeru sa sajlama). Prema autorima opterećenje koje je omogućilo čistu formu i maksimalno istezanje	8 tjedana, 2x tjedno	1RM potisak s ravne klupe	2,54 cm superiorno i 3,59 cm dijagonalno superiorno-lateralno u odnosu na bradavicu (trbuh mišića i lateralni dio mišića)	DEBLJINA MIŠIĆA: lateralno ISO=10,4%, CON=9,0%; sredina ISO=11,1%, CON=12%; suma ISO=10,6%, CON=10,4%. JAKOST: potisak s klupe 5,73 vs 6,25%
Van Every i sur., 2022	rekreativno aktivni studenti, limitirano iskustvo u treningu s otporom	unutar ispitanika	4X8-12 po vježbi (s opruženim i pogrčenim nogama, sprava za nožni potisak), pauza 2 min između serija, 3 između vježbi	20 sekundi, isto opterećenje	8 tjedana, 2x tjedno	MVIC, s opruženim i pogrčenim nogama	30% duljine potkoljenice, točna mjesta nisu specificirana	DEBLJINA MIŠIĆA: LG ISO=18,13%, LG CON=16,95%, MG ISO=5,94%, MG CON=5,53%, S ISO=6,48%, S CON=3,41%, ništa nije značajno, gledali z scorove, veličine učinka i intervale pouzdanosti te temeljem toga zaključili. JAKOST (ISO vs CON): savijena koljena 21,29 vs 14,86%, opružena koljena 21,89 vs 20,50%

LEGENDA: ISO- eksperimentalna skupina; CON- kontrolna skupina; MVIC- maksimalna voljna izometrijska kontrakcija; MG-medijalni gastrocnemius; LG- lateralni gastrocnemius; S- soleus

1.9. Problem rada

Razvoj inovativnih metoda za unapređenje mišićne hipertrofije i jakosti predstavlja ključan izazov u području sportskih znanosti, fitnesa i kondicijske pripreme. Metoda istezanja s otporom između serija, iako obećavajuća, još uvijek je relativno nova tehnika s brojnim otvorenim pitanjima. Ključni problem leži u nedostatku jasnih dokaza o učinkovitosti ISO-a i njegovoj primjenjivosti na različite mišićne skupine. Dosadašnja istraživanja uglavnom su se fokusirala na plantarne fleksore gležnja, dok primjena ISO-a na druge mišićne skupine, osim mišića *pectoralis major* (gdje su vježbe modificirane tijekom istezanja), je ostala neistražena (Wadhi i sur., 2021; Silva i sur., 2014; Van Every i sur., 2022). Ovo istraživanje nastoji popuniti postojeću prazninu u znanstvenim saznanjima i utvrditi može li se ISO učinkovito primijeniti na različite mišićne skupine.

ISO zahtijeva izvođenje vježbi koje omogućuju postavljanje ciljane mišićne skupine u poziciju istezanja odmah nakon završetka serije. Međutim, različite vježbe, položaji tijela i razine opterećenja mogu značajno modulirati učinkovitost ove metode. Na primjer, način aktivacije mišića, pozicija tijela i primijenjeno opterećenje često se razlikuju među vježbama, što može dovesti do varijabilnih učinaka na hipertrofiju i jakost. Ovo istraživanje ispituje kako specifični uvjeti izvođenja vježbi i primjene istezanja utječu na učinkovitost ISO-a u različitim mišićnim skupinama.

Nepouzdanost dosadašnjih nalaza o učinkovitosti ISO-a predstavlja značajan izazov. Iako teorijski pretpostavljamo da istezanje pod opterećenjem povećava vrijeme pod napetošću (VPN), još uvijek nije jasno je li taj podražaj dovoljno snažan da potakne hipertrofiju mišića. S druge strane, ako ISO ne generira adekvatan stimulativni podražaj, može dovesti do umora bez značajnog povećanja mišićne mase, što posljedično smanjuje radni kapacitet u narednim serijama i negativno utječe na ukupne adaptacije.

Jedan od ključnih ciljeva ovog istraživanja jest kvantifikacija intenziteta istezanja pomoću percipiranog osjećaja intenziteta istezanja. Percipirani osjećaj intenziteta istezanja se koristi kao indikator intenziteta istezanja i potencijalno predstavlja važan pokazatelj hipertrofijskog učinka ISO metode. Ovo je prvo istraživanje koje analizira utjecaj percepcije intenziteta istezanja na mišićni rast, pružajući uvid u mogućnosti optimizacije ISO protokola temeljem subjektivnih procjena.

Poznato je da mišići ne rastu uniformno, kako unutar iste vježbe, tako i pod različitim uvjetima, primjerice tijekom koncentričnih i ekscentričnih mišićnih akcija (Walker i sur., 2020). Ovo istraživanje ispituje regionalne razlike u hipertrofiji inducirane ISO metodom, čime se doprinosi boljem razumijevanju mehanizama koji uzrokuju selektivni rast mišića u različitim regijama.

Osim hipertrofije, studija se fokusira i na učinke ISO-a na razvoj mišićne jakosti. Iako povećana ukupna mehanička napetost teoretski može potaknuti veće promjene u jakosti, postoji mogućnost da umor izazvan istezanjem narušava izvedbu narednih serija, što negativno utječe na adaptacije. U ovom istraživanju uspoređuju se učinci ISO-a i tradicionalnih metoda treninga na mišićnu jakost, čime se nastoje razjasniti otvorena pitanja u području primjene ove metode.

Također, istraživanje analizira promjene u arhitekturi mišića povezane s ISO metodom. Prethodna istraživanja pokazuju da protokoli istezanja mogu mijenjati duljinu mišićnih vlakana i kut penacije, no specifični učinci ISO-a još nisu poznati. Ova studija uključuje mjerenje ovih parametara u mišiću medijalni *gastrocnemius*, pružajući uvid u potencijalne strukturne adaptacije izazvane ovom metodom.

Zaključno, istraživanje je usmjereno na adresiranje ključnih nejasnoća vezanih uz učinkovitost ISO metode te na ispitivanje njezinog utjecaja na različite mišićne skupine, intenzitet istezanja, hipertrofiju, jakost i arhitekturu mišića.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Opći cilj

Cilj ove disertacije je ispitati utjecaj metode istezanja s otporom između serija na razvoj mišićne jakosti, regionalnu debljinu mišića i arhitekturu mišića, u usporedbi s istim treningom s otporom koji se izvodi bez istezanja između serija, uz primjenu pasivne pauze.

Opća hipoteza

Program treninga s otporom koji uključuje metodu istezanja s otporom između serija rezultira većim poboljšanjima u mišićnoj jakosti, regionalnoj debljini mišića i arhitekturi mišića u usporedbi s istim programom koji se provodi bez istezanja između serija, uz primjenu pasivne pauze.

Specifični ciljevi

Sukladno općem cilju, postavljeni su sljedeći specifični ciljevi:

1. Analizirati učinke metode istezanja s otporom između serija na regionalnu debljinu mišića te utvrditi postoje li razlike u odnosu na učinke tradicionalne metode treninga s otporom.
2. Ispitati utjecaj metode istezanja s otporom između serija na arhitekturu mišića, uključujući duljinu mišićnih vlakana i kut penacije.
3. Procijeniti učinke metode istezanja s otporom između serija na pokazatelje mišićne jakosti, s naglaskom na vršni moment sile mišića gornjih ekstremiteta, maksimalnu jakost (1 RM) mišića gornjih i donjih ekstremiteta te mišića *pectoralis major*.
4. Utvrditi utječe li veličina percipiranog intenziteta primijenjenog u metodi istezanja s otporom između serija na promjene u mišićnoj masi i jakosti.

Specifične hipoteze

Na temelju specifičnih ciljeva, postavljene su sljedeće hipoteze:

1. Primjena metode istezanja s otporom između serija rezultirati će statistički značajno većim povećanjem regionalne debljine mišića, osobito na distalnim dijelovima mišića, u usporedbi s tradicionalnim modelom treninga s otporom.

2. Trening koji uključuje metodu istezanja s otporom između serija uzrokovati će povoljnije promjene u arhitekturi mišića, što će se očitovati kroz povećanje duljine mišićnih vlakana i kuta penacije, u odnosu na tradicionalni protokol treninga.
3. Primjena metode istezanja s otporom između serija dovesti će do većeg porasta pokazatelja mišićne jakosti, uključujući vršni moment sile mišića gornjih ekstremiteta te maksimalnu jakost (1RM) mišića gornjih i donjih ekstremiteta, kao i mišića *pectoralis major*, u usporedbi s tradicionalnim treningom.
4. Veličina percipiranog intenziteta primijenjenog u metodi istezanja s otporom između serija značajno će utjecati na adaptacije u mišićnoj masi i mišićnoj jakosti, pri čemu će veći percipirani intenzitet dovesti do izraženijih povećanja.

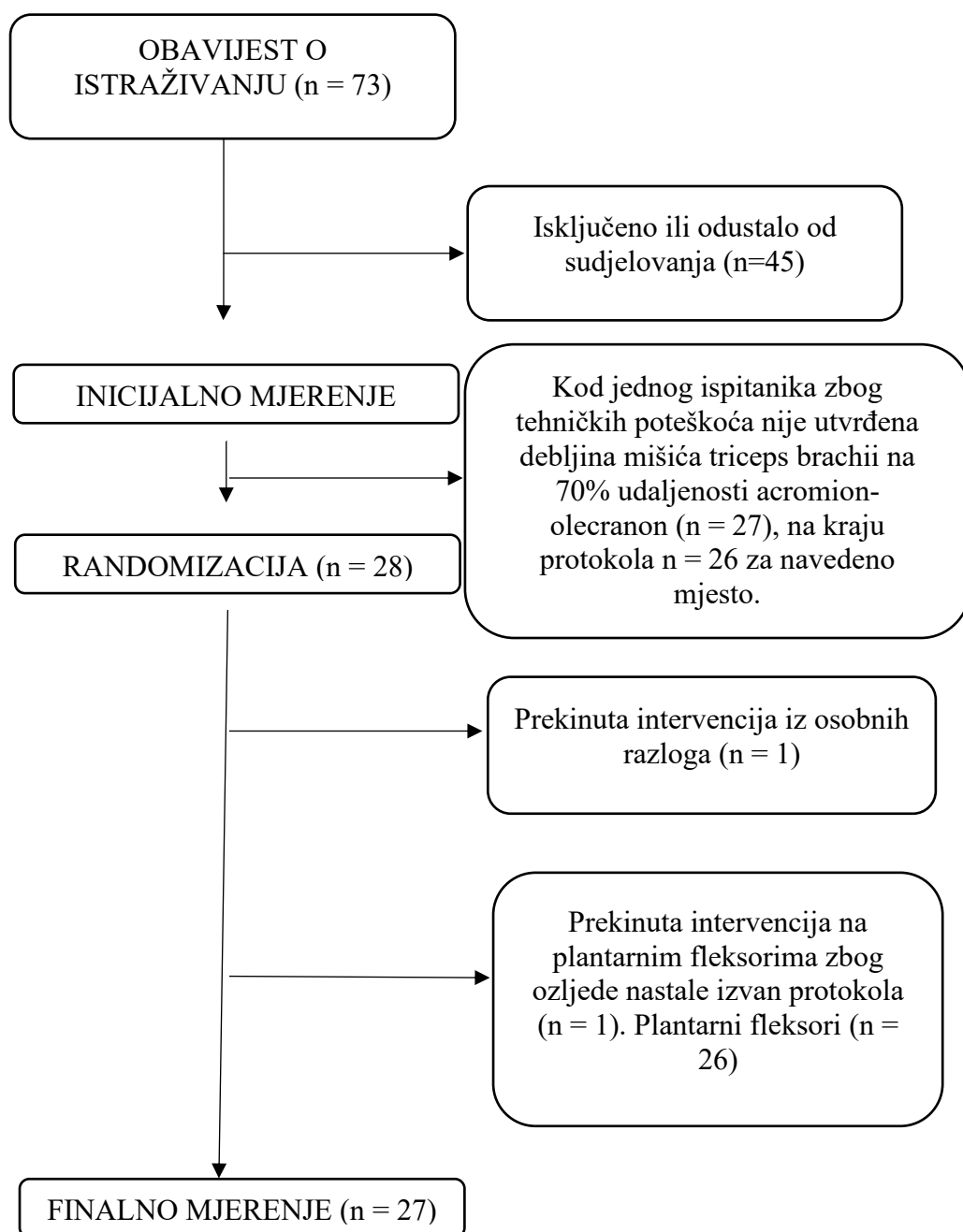
3. METODE RADA

3.1. Ispitanici

A priori analiza statističke snage provedena je pomoću programa G*Power (verzija 3.1.9.7, Njemačka, Düsseldorf) temeljem dvofaktorske analize varijance za ponovljena mjerenja. Pri tome je pretpostavljena minimalna, praktično značajna standardizirana veličina učinka od 0,3, razina značajnosti od 0,05, statistička snaga od 0,80 te korelacija između ponovljenih mjerenja od 0,7. Rezultati analize pokazali su da je minimalna potrebna veličina uzorka iznosila 16 ispitanika.

Ispitanici su odabrani kao prigodni uzorak mladih, zdravih i tjelesno aktivnih muških studenata Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ($n = 28$, dob: $20,07 \pm 0,86$; visina: $183,88 \pm 5,49$ cm; težina: $81,26 \pm 6,38$ kg; trenažno iskustvo: $15,70 \pm 13,95$ mjeseci), čija je prosječna razina aktivnosti iznosila 7 prema Tagnerovoj skali. Kriteriji za uključivanje obuhvaćali su osnovno znanje i iskustvo u treningu s otporom, dobro opće zdravstveno stanje bez neuroloških i mišićno-koštanih poremećaja ili povijesti ozljeda mišića treniranih u istraživanju te odsutnost uporabe anaboličkih steroida ili drugih zabranjenih tvari unutar šest mjeseci prije istraživanja. Svi ispitanici su prethodno upoznati s ciljevima i mogućim rizicima istraživanja te su potpisali informirani pristanak za sudjelovanje. Istraživanje je usklađeno s Helsinškom deklaracijom, a eksperimentalni protokol odobrili su Znanstvena i Etička komisija Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (broj odobrenja: 22/2024). Tijekom istraživanja ispitanici nisu smjeli sudjelovati u drugim sustavnim treninzima s otporom, osim u redovnim nastavnim aktivnostima na fakultetu.

Ispitanicima su slučajnim odabirom dodijeljeni eksperimentalni, odnosno kontrolni uvjet s obzirom na stranu tijela. Tijekom istraživanja jedan ispitanik odustao je zbog osobnih razloga nevezanih s istraživanjem, dok je drugi ispitanik zbog ozljede izvan ovog istraživanja morao prekinuti s izvođenjem vježbe stojeće podizanja na prste. Posljedično, podaci o debljini mišića i jakosti (8 RM) za stražnju stranu potkoljenice tog ispitanika nisu uključeni u analizu ($n = 26$). Nadalje, tehnički problemi spriječili su mjerenje debljine mišića na točki T70 (70% udaljenosti između akromiona i olekranona na stražnjoj strani nadlaktice) kod jednog ispitanika, pa je za tu točku analizirano 26 ispitanika. Tijek sudjelovanja ispitanika u istraživanju prikazan je pomoću CONSORT dijagrama na Slici 1.



Slika 1. CONSORT dijagram tijekom ispitanika kroz sve faze provedbe istraživanja.

3.2. Eksperimentalni nacrt

Inicijalna i završna mjerenja svih ispitanika provedena su u Laboratoriju za motoričku kontrolu i izvedbu Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Cjelokupno istraživanje trajalo je deset tjedana, pri čemu su u prvom i posljednjem tjednu provedena mjerenja, dok se trenažni program odvijao tijekom preostalih osam tjedana.

Inicijalna mjerenja služila su za procjenu početnog stanja regionalne debljine i arhitekture mišića pomoću dijagnostičkog ultrazvuka te vršnog momenta sile ruku na izokinetičkom dinamometru. Pouzdanost mjerenja debljine mišića procijenjena je na uzorku od devet ispitanika, kojima je debljina mišića izmjerena dva dana uzastopno, u isto doba dana, na točno određenim mjestima koja su uključena u istraživanje, koristeći dijagnostički ultrazvuk. Ispitanici su dobili upute da izbjegavaju iscrpljujuće fizičke aktivnosti unutar 48 sati prije svakog mjerenja te da ne konzumiraju stimulanse živčanog sustava na dan testiranja.

Prije početka trenažnog programa, ispitanici su upoznati s protokolom. Strane tijela dodijeljene su nasumično eksperimentalnom ili kontrolnom uvjetu, a provedena je i familijarizacija s treningom. Familijarizacija je obuhvatila izvođenje dviju serija svake vježbe kako bi ispitanici na početku drugog tjedna bili spremni za protokol.

Trenažni protokol trajao je osam tjedana, pod vodstvom istraživača. Tijekom prva tri tjedna ispitanici su trenirali dvaput tjedno, dok su u preostalom razdoblju trenirali triput tjedno. Opterećenje je progresivno povećavano: ispitanici su tijekom prva dva tjedna izvodili šest serija po mišićnoj skupini, treći i četvrti tjedan osam serija, peti i šesti deset serija, a sedmi i osmi tjedan dvanaest serija.

Završna mjerenja, koja su obuhvaćala procjenu debljine mišića, arhitekture mišića te izokinetičku dijagnostiku, provedena su u desetom tjednu, između trećeg i petog dana nakon posljednjeg treninga. Ovaj vremenski razmak osmišljen je kako bi se izbjegao utjecaj potencijalnog oticanja mišića na rezultate mjerenja, u skladu s prethodnim istraživanjima koja pokazuju da se akutno povećanje debljine mišića vraća na početne vrijednosti unutar 48 sati nakon treninga s opterećenjem (Chilibeck i sur., 2004; Ogasawara i sur., 2012). Ispitanici su tijekom završnog tjedna dobili upute identične onima iz prvog tjedna.

3.3. Mjerni instrumenti

3.3.1. Mjerenje debljine i arhitekture mišića

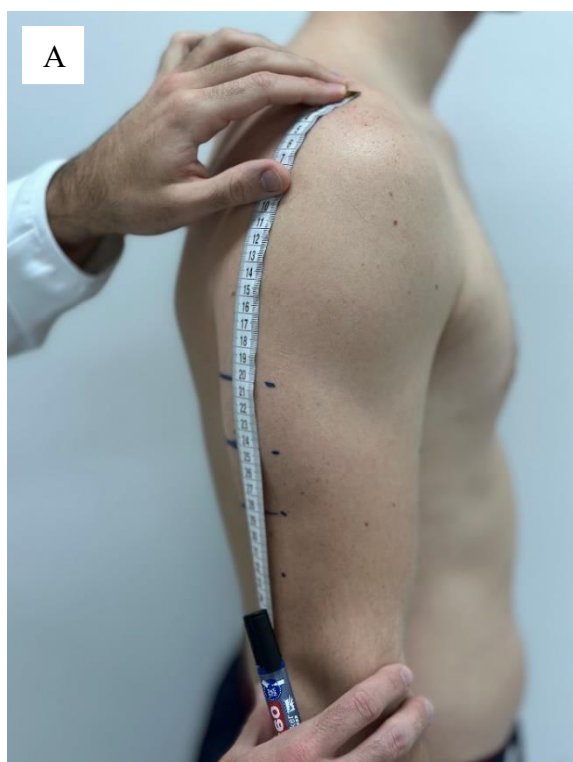
Debljina i arhitektura mišića, uključujući kut penacije i duljinu snopa mišićnih vlakana, mjerene su dijagnostičkim ultrazvučnim uređajem *Siemens Sonoline G40* (Siemens Medical Solutions USA, Inc., Mountain View, CA, USA, 2005). Postavke uređaja optimizirane su prema korisničkom priručniku proizvođača i ostale su nepromijenjene tijekom svih mjerenja kako bi se osigurala dosljednost podataka. Linearna ultrazvučna sonda VF10-5 (10–5 MHz, dimenzija 39×5 mm) korištena je za mjerenja, pri čemu je bila postavljena okomito na kožu i okomito na smjer pružanja snopova mišićnih vlakana za mišiće *biceps brachii* i *brachialis* (u daljnjem tekstu radi jednostavnosti samo *biceps brachii*), *triceps brachii* i *pectoralis major*, dok je za mišiće *gastrocnemius* i *soleus* sonda bila postavljena uzdužno u odnosu na smjer pružanja vlakana (Slike 3–7). Whittaker i sur. (2007) predlažu veće frekvencije, veće od 7,5 MHz za površinske mišiće i niže frekvencije, niže od 5 MHz za dublje mišiće. U ovome se istraživanju frekvencija od 8 MHz pokazala optimalna za mjerenje debljine svih mišića.

Kako bi se povećala pouzdanost podataka, za svaki mišić su snimljene dvije slike, a prosječna vrijednost mjerenja uključena je u analizu. Posebna pažnja posvećena je korištenju kontaktnog gela kako bi se minimizirao pritisak sonde na tkivo i spriječio mehanički utjecaj na rezultate. Ispitanici su bili upućeni da se suzdrže od bilo kakve tjelesne aktivnosti na dan mjerenja te da 48 sati prije mjerenja ne sudjeluju u treningu s otporom.

Po dolasku u laboratorij, na tijelima ispitanika vodootpornim markerom označene su točke za mjerenje debljine mišića, pri čemu su udaljenosti između anatomske referentnih točaka precizno utvrđene centimetarskom vrpcom. Nakon označavanja, ispitanici su ležali 10 minuta kako bi se omogućila stabilizacija tjelesnih tekućina, što je osiguravalo dosljednost i pouzdanost mjerenja (Arroyo i sur., 2018).

Mjerenje debljine mišića izvedeno je u sljedećim položajima:

Biceps brachii: Ispitanici su ležali na leđima s opuštenim tijelom, podlaktica je bila u neutralnoj poziciji, a nadlaktica je bila umetnuta na posebno dizajnirani naslon što je omogućilo bolju standardizaciju mjerenja. Sonda je postavljena okomito na smjer vlakana u središtu mišića između medijalnog i lateralnog ruba. Označene su točke na 60, 70 i 80% udaljenosti između *akromiona* i *olekranona* (slika 2).



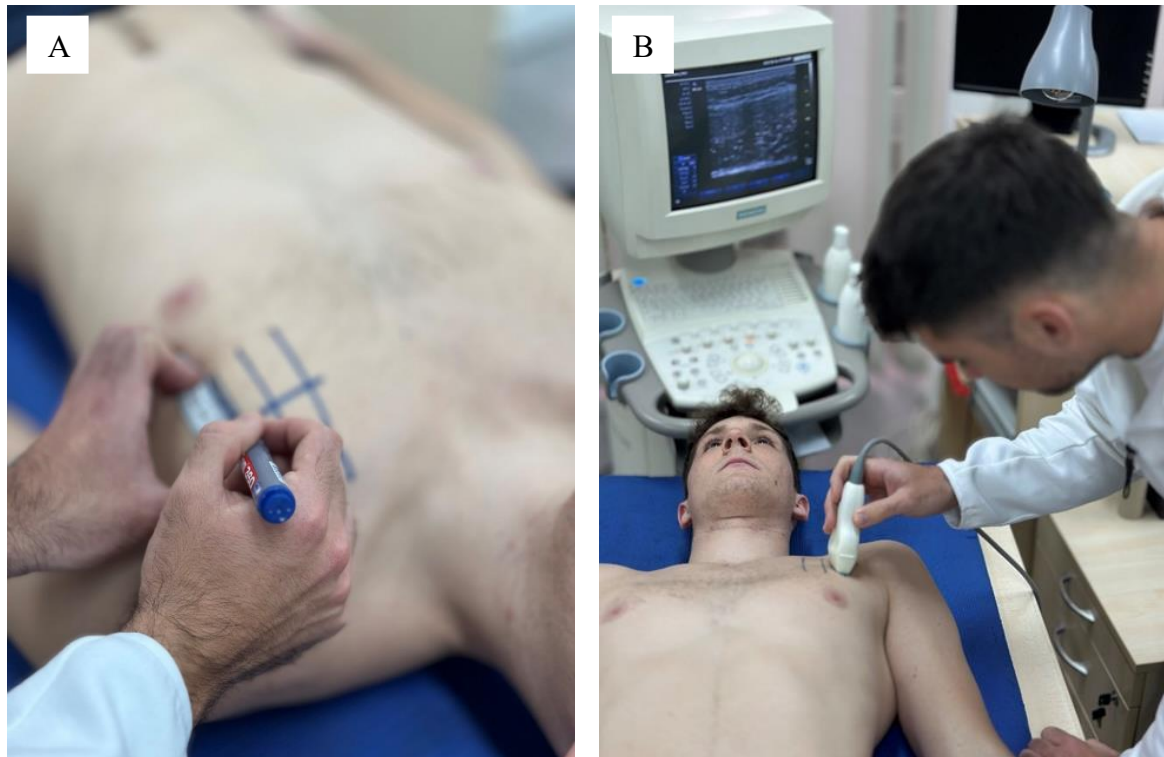
Slika 2. Određivanje lokacije (A i B) i mjerenje debljine mišića *biceps brachii* i *brachialis* (C i D).

Triceps brachii: Ispitanici su ležali na trbuhu s nadlakticom pod kutom od 90° u odnosu na trup. Podlaktica je slobodno visjela sa stola, dok je čvrsti naslon ispod nadlaktice omogućavao standardiziranu poziciju. Označene su točke na 50, 60 i 70% udaljenosti između *akromiona* i *olekranona* (slika 3) (Matta i sur., 2011).



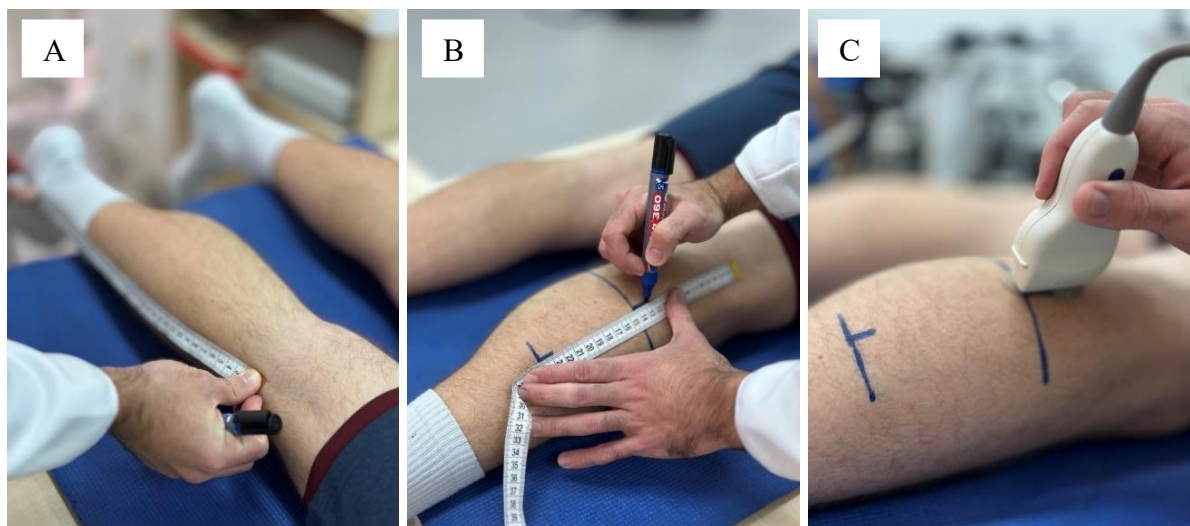
Slika 3. Određivanje lokacije (A) i mjerenje debljine mišića *triceps brachii* (B).

Pectoralis major: Ispitanici su ležali na leđima s rukama opuštenim uz tijelo, dok je ultrazvučna sonda bila postavljena paralelno uzdužnoj osi tijela na razini između trećeg i četvrtog rebra. Debljina mišića mjerena je na 40, 50 i 60% udaljenosti između *sternuma* i *akromiona* (slika 4) (Bueno i sur., 2017).



Slika 4. Određivanje lokacije (A) i mjerenje debljine mišića *pectoralis major* (B).

Gastrocnemius i *soleus*: Mjerenja su provedena u ležećem položaju na trbuhu, sa stopalima koja vise sa stola. Sonda je postavljena paralelno s vlaknima mišića (poravnanje sonde smatralo se prikladnim kada su površinska i duboka aponeuroza bile paralelne). Za *gastrocnemius* je označena točka na 30% udaljenosti između lateralnog gležnja i poplitealnog nabora dok je *medijalni gastrocnemius* mjeran ispod tetive *semimembranosus*. *Soleus* se mjerio na 50% udaljenosti između lateralnog gležnja i poplitealnog nabora ispod tetive *biceps femoris* (slika 5).



Slika 5. Određivanje lokacije (A i B) i mjerenje debljine mišića *lateralni gastrocnemius*, *medijalni gastrocnemius* i *soleus* (C).

Debljine mišića mjerene su kao najkraća vertikalna udaljenost od donjeg ruba površinske aponeuroze do gornjeg ruba duboke aponeuroze ili gornjeg ruba kosti, ovisno o anatomskej strukturi (Slika 6-9). Za svako mjesto snimljene su dvije slike te je izračunata prosječna vrijednost izmjenjenih debljina mišića. Uz debljinu, za mišić *medijalni gastrocnemius* analizirana je i njegova arhitektura, uključujući kut penacije i duljinu pružanja mišićnih vlakana. Kut penacije definiran je kao kut između smjera mišićnih vlakana i duboke aponeuroze, dok je duljina vlakna određena udaljenošću snopa između površinske i duboke aponeuroze (Slika 10-11). Kada slika nije obuhvatila cijeli snop mišićnih vlakana od polazišta do hvatišta, duljina je procijenjena linearnom ekstrapolacijom, pri čemu se mjerila udaljenost od vidljivog kraja snopa vlakana do sjecišta produžetka linije vlakana s produžetkom linije površinske ili duboke aponeuroze (Blazevich i sur., 2006). Kut penacije, odnosno kut pružanja vlakana, dodatno je utvrđen kao odnos između duboke aponeuroze i jasno vidljivih snopova

vlakana mišića (Slika 10). Kut penacije i duljina vlakana je mjerena 5 puta, te je izračunata prosječna vrijednost. Snimljene slike pohranjene su za daljnju analizu u programu *ImageJ* (verzija 1.53c; National Institutes of Health, USA).

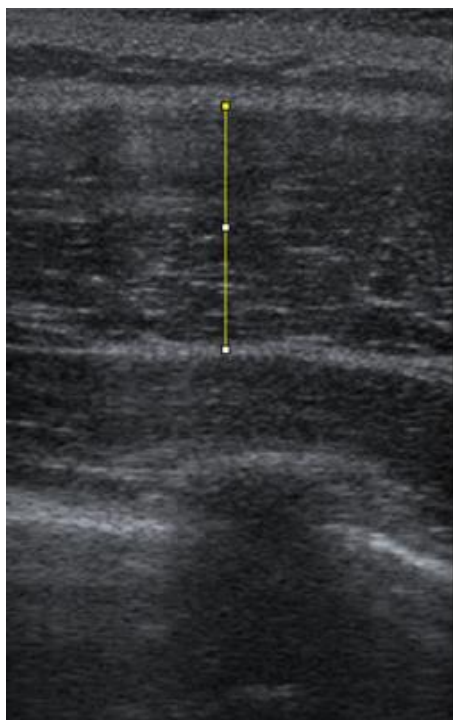
Pouzdanost mjerenja debljine mišića testirana je u dva odvojena dana na uzorku od devet ispitanika, pri čemu su intraklasni koeficijenti korelacije (ICC) prikazani u Tablici 2.



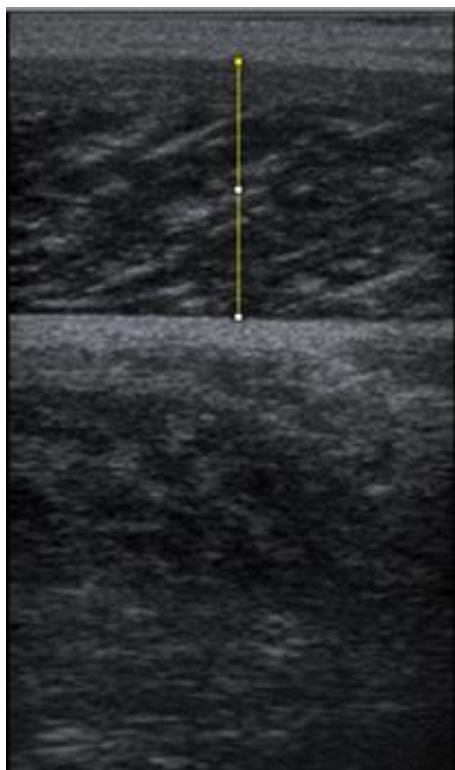
Slika 6. *Primjer utvrđivanja debljine mišića biceps brachii.*



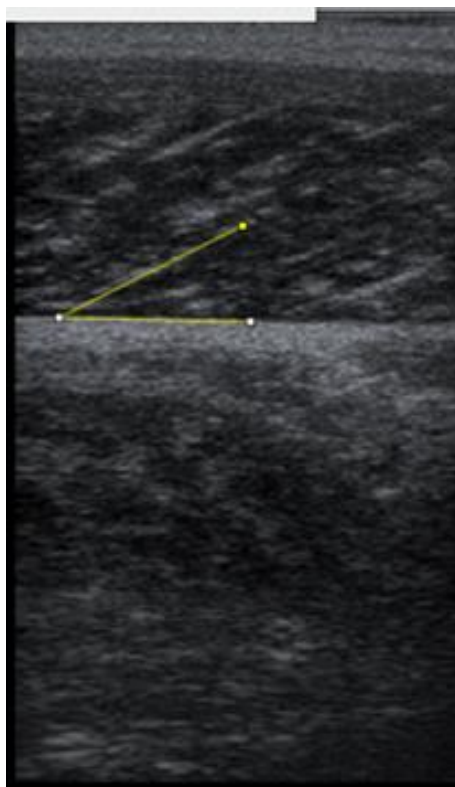
Slika 7. *Primjer utvrđivanja debljine mišića triceps brachii.*



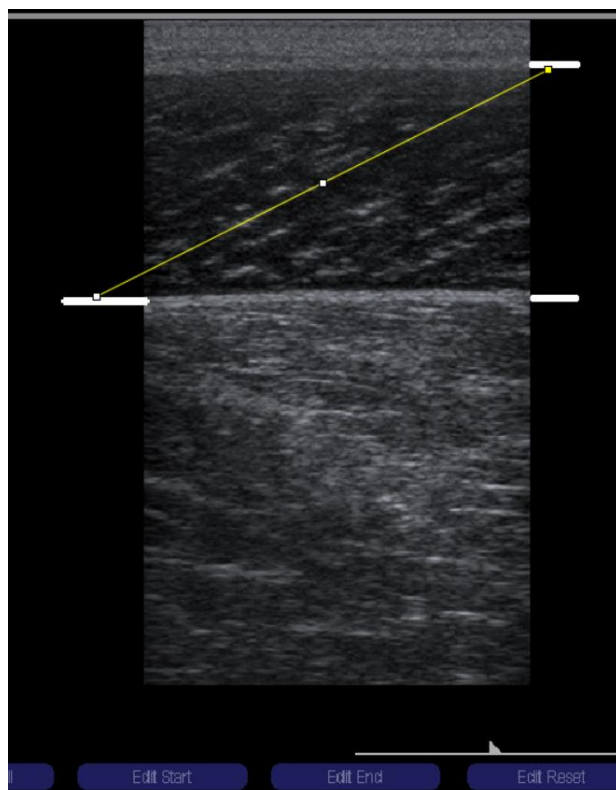
Slika 8. *Primjer utvrđivanja debljine mišića pectoralis major.*



Slika 9. *Primjer utvrđivanja regionalne debljine mišića medijalni gastrocnemius.*



Slika 10. *Primjer utvrđivanja kuta penacije na mišiću medijalni gastrocnemius.*



Slika 11. *Primjer utvrđivanja duljine vlakana na mišiću medijalni gastrocnemius.*

3.3.2. Mišićna jakost

Nakon ultrazvučne dijagnostike, maksimalna koncentrična jakost mišića ispružaća i pregibača lakta mjerena je na izokinetičkom dinamometru (System 4, Biodex Corporation, Shirley, New York, USA; Slika 12) pri kutnoj brzini od $60^{\circ}/s$. Prije samog mjerenja, ispitanici su izveli pet submaksimalnih ponavljanja zagrijavanja. Jednu minutu nakon završetka zagrijavanja slijedila su tri maksimalna ponavljanja ispružanja i pregibanja lakta. Tijekom ovih ponavljanja ispitanicima je pružana verbalna podrška kako bi se osiguralo njihovo maksimalno zalaganje.



Slika 12. Mjerenje maksimalne koncentrične jakosti mišića ispružaća i pregibača lakta izokinetičkim dinamometrom.

Dinamometar je postavljen prema tehničkim uputama proizvođača. Ispitanici su sjedili u sjedalu dinamometra, s ramenima i zdjelicom fiksiranim sigurnosnim pojasevima. Nadlaktica ruke koja se testirala bila je oslonjena na klupicu postavljenu pod kutom od 30° lateralno u odnosu na sagitalnu ravninu trupa. Visina glave dinamometra prilagođena je tako da je u liniji s poprečnom osi lakatnog zgloba. Ispitanici su čekić hvatom držali ručku dinamometra i izvodili ispružanja i pregibanja lakta u rasponu pokreta od 10° do 130° (pri čemu 0° označava potpuno opružen lakat) pri kutnoj brzini od $60^\circ/\text{s}$. Nakon mjerenja na jednoj ruci, uređaj je prilagođen za testiranje druge ruke, a cijeli protokol je ponovljen.

Osim izokinetičke dinamometrije, za procjenu jakosti *triceps surae* i *pectoralis major* korišten je broj ponavljanja i opterećenje koji su ostvareni tijekom drugog i posljednjeg treninga u

protokolu. Na temelju ovih podataka procijenjeno je jedno maksimalno ponavljanje (1RM) primjenom formule prema Brzyicki (1993). Drugi trening odabran je za analizu kako bi se izbjegli početni utjecaji adaptacije na protokol i opterećenja te osigurala veća točnost rezultata.

3.3.3. Intenzitet istezanja

Intenzitet istezanja za svaku vježbu procjenjivan je primjenom modificirane verzije Numeričke skale procjene boli (NRS), koja se sastoji od raspona vrijednosti od 0 do 10, pri čemu vrijednost 0 označava potpuni izostanak napetosti ili boli, a vrijednost 10 označava maksimalnu razinu napetosti ili boli (Thong i sur., 2018; Ferreira-Valente i sur., 2011; Santos i sur., 2020). U ovoj je studiji skala prilagođena tako da je termin „bol“ zamijenjen izrazima „bol/napetost/nelagoda“ kako bi se preciznije opisala subjektivna percepcija intenziteta istezanja. Nakon nekoliko odrađenih treninga, ispitanici su zamoljeni da procijene razinu zahtjevnosti istezanja za svaku pojedinu vježbu. Odabir ovog vremenskog razdoblja omogućio je ispitanicima dostatnu prilagodbu na program vježbanja te razvoj jasnije percepcije intenziteta napetosti tijekom izvođenja vježbi. Procjene su prikupljene neposredno po završetku svakog treninga.

3.4. Trenažni program

Program treninga uključivao je četiri unilateralne vježbe: pregib lakta na kosoj klupi, ispružanje lakta iza glave na trenažeru sa sajlama, privlačenje na trenažeru i podizanje na prste na trenažeru (Slike 15-18). Trening je bio pod strogim nadzorom istraživača kako bi se osigurala dosljednost i pravilnost izvedbe. Broj serija postupno je povećavan tijekom protokola, počevši sa šest serija tjedno, a završivši s dvanaest serija, pri čemu se svaka dva tjedna broj serija povećavao za dvije (Tablica 2). Prva tri tjedna ispitanici su trenirali 2 puta tjedno, dok su ostatak protokola trenirali 3 puta tjedno, a ciljani broj ponavljanja po seriji bio je osam do deset.

Posebna je pažnja posvećena osiguravanju jednakosti u izvedbi vježbi za obje strane tijela, pri čemu je dosljedno kontrolirana tehnika izvođenja i tempo pokreta. Ispitanicima je dano uputstvo: „Kako god radite jednu stranu, tako napravite i drugu.“ Tempo izvedbe vježbi bio je 2-1, pri čemu su ekscentrična i koncentrična faza kretanja trajale dvije, odnosno jednu sekundu. Ako bi ispitanik započeo seriju s prevelikim ili premalim opterećenjem koje nije omogućavalo postizanje ciljanog broja ponavljanja, opterećenje se prilagođavalo jednako za obje strane kako

bi ukupni volumen rada ostao što ujednačeniji. Ako zadani broj ponavljanja nije bio ostvaren u prvoj seriji, opterećenje se prilagodilo za naredne serije, uz uvjet da se promjena provede identično u oba uvjeta (proporcionalno povećanje ili smanjenje).

Svaka serija izvodila se do trenutnog koncentričnog mišićnog otkaza, odnosno trenutka kada ispitanik više nije mogao izvesti pravilno niti jedno dodatno ponavljanje. Nakon otkaza, kontrolni uvjet koristio je pasivnu pauzu u trajanju od 120 sekundi, dok je eksperimentalni uvjet u okviru iste pauze držao istezanje pod opterećenjem u trajanju od 20 do 30 sekundi, ovisno o tjednu protokola. Periodizacija trajanja istezanja bila je sljedeća: prva tri tjedna trajanje istezanja bilo je 20 sekundi, tijekom četvrtog i petog tjedna povećano je na 25 sekundi, dok je od šestog do osmog tjedna trajanje doseglo 30 sekundi. Cilj ove postupne prilagodbe bio je smanjiti rizik od ozljeda. Vrijeme istezanja mjerilo se od trenutka kada bi ispitanik zauzeo pravilnu poziciju, a preostalo vrijeme pauze do isteka 120 sekundi provodilo se u pasivnom odmoru.

Prije svakog treninga, ispitanici su izvodili jednu seriju zagrijavanja s 8–12 ponavljanja koristeći opterećenje od približno 20 RM za oba uvjeta.

Redoslijed strane tijela kojom se započinjala radna serija mijenjao se između treninga kako bi se eliminirao potencijalni utjecaj redoslijeda na rezultate. Ako je kontrolni uvjet izvodio seriju prvi, eksperimentalni uvjet započinjao je odmah po završetku kontrolne serije, nakon čega je slijedila dvominutna pauza (unutar koje je uključeno istezanje pod opterećenjem). U slučaju kada je eksperimentalni uvjet bio prvi, kontrolni uvjet započinjao je seriju nakon završetka perioda istezanja. U oba slučaja, vremenski razmak između završetka serije jednog uvjeta i početka serije drugog uvjeta iznosio je točno dvije minute.

Tablica 2. *Shematski prikaz protokola.*

TJEDAN	TRENAŽNI PROTOKOL	
1	INICIJALNO MJERENJE	
2	6 SERIJA	ISTEZANJE 20 SEKUNDI
3		
4	8 SERIJA	ISTEZANJE 25 SEKUNDI
5		
6	10 SERIJA	
7		

8	12 SERIJA	ISTEZANJE 30 SEKUNDI
9		
10	FINALNO MJERENJE	

1. SERIJA				2. SERIJA		
EKSPERIMENTALNI	ISTEZANJE 20-30sec	KONTROLNI	ODMOR 2 MINUTE	EKSPERIMENTALNI	ISTEZANJE 20-30sec	KONTROLNI

Slika 13. Prikaz izvedbe protokola kada se izvodi prvo serija s eksperimentalnim uvjetom.

1. SERIJA		ODMOR 2 MINUTE		2. SERIJA	
KONTROLNI	EKSPERIMENTALNI	ISTEZANJE 20-30sec	PREOSTALI ODMOR 90-100sec	KONTROLNI	EKSPERIMENTALNI

Slika 14. Prikaz izvedbe protokola kada se izvodi prvo serija s kontrolnim uvjetom.

Opis vježbi i metode istezanja s otporom između serija

Pregib lakta na kosoj klupi (45°)

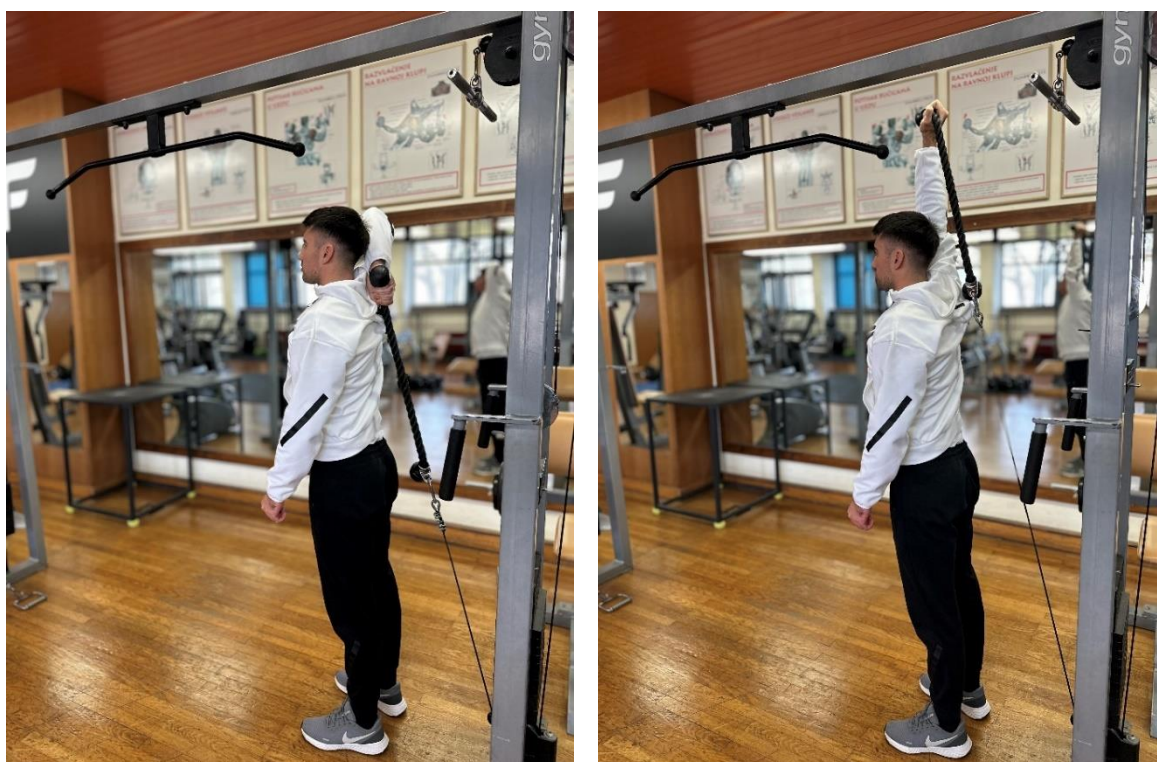
Ispitanici sjede naslonjeni na kosu klupu s opruženom rukom u blagom zaručenju pored tijela i izvode pregibe lakta s bučicom i vraćaju je u početni položaj (Slika 15). Ova vježba odabrana je jer omogućuje postavljanje mišića *biceps brachii* u maksimalno istegnutu poziciju (retrofleksija ruke). Nakon izvedbe serije do trenutnog koncentričnog mišićnog otkaza sa supiniranom podlakticom, ispitanici su odmah postavljali ruku u poziciju retrofleksije koristeći isto opterećenje koje su koristili u radnoj seriji. Dobili su uputu: „Postavite ruku u položaj u kojem osjećate maksimalno istezanje bicepsa i blagu nelagodu.“ Budući da su ispitanici studenti Kineziološkog fakulteta, ovakav tehnički vokabular bio je prikladan jer su dobro razumjeli pojmove poput „istezanje“, „nelagoda“ i „biceps“. Vrijeme istezanja počelo se mjeriti čim su ispitanici zauzeli optimalnu poziciju istezanja dopuštenu vježbom i opremom.



Slika 15. Prikaz izvođenja vježbe i položaja istezanja tijekom pregiba lakta na kosoj klupi.

Ispružanje lakta iza glave na trenažeru sa sajlama

Ispitanici stoje u raskoračnom stavu širine ramena, otključanih koljena i blagog pretklona trupa leđima okrenuti trenažeru, držeći užu s donje koloture čekić hvatom u uzručenju, te zadržavajući lakat u mjestu izvode pregibanje i ispružanje lakta (slika 16). Ova vježba odabrana je zbog mogućnosti postavljanja mišića *triceps brachii* u istegnutu poziciju (fleksija podlaktice i antefleksija nadlaktice). Nakon izvedene serije do trenutnog koncentričnog mišićnog otkaza, ispitanici su s istim opterećenjem odmah postavili ruku u poziciju fleksije podlaktice i antefleksije nadlaktice, s nadlakticom smještenom uz glavu. Dobivena je uputa: „Pronađite položaj u kojem osjećate maksimalno istezanje tricepsa i blagu nelagodu.“



Slika 16. Prikaz izvođenja vježbe i položaja istezanja tijekom ispružanja lakta iza glave na trenažeru sa sajlama.

Privlačenje na trenažeru

Ispitanici sjede na trenažeru i drže hvataljku u visini ramena ispred tijela, te izvode horizontalno odručenje i privlačenje hvataljke u početni položaj (slika 17). Ova vježba omogućuje postavljanje mišića *pectoralis major* u istegnutu poziciju. Nakon serije izvedene do trenutnog koncentričnog mišićnog otkaza, ispitanici su odmah zauzeli položaj istezanja. Kako bi se osigurala pravilna izvedba, partner je stabilizirao rame i prsni koš uz naslon trenažera kako eventualna slabija stabilnost trupa ne bi narušila tehniku. Kod određenih ispitanika koji nisu mogli zadržati jednako opterećenje u istegnutom položaju, težina je odmah nakon radne serije smanjena za 15-30% kako bi omogućila izdržavanje zadanog perioda istezanja. Time se minimizirala potreba za aktivnom kontrakcijom mišića kako bi se stabiliziralo opterećenje, čime je cilj istezanja bio preciznije ostvaren.



Slika 17. Prikaz izvođenja vježbe i položaja istezanja tijekom vježbe privlačenje na trenažeru.

Podizanje na prste na trenažeru

Ispitanici prednjim dijelom stopala stoje na rubu gazišta *hack squat* trenažera u dorzalnoj fleksiji te se podižu na prste plantarnom fleksijom i vraćaju u početni položaj (slika 18). Ova vježba odabrana je jer omogućuje postavljanje mišića *gastrocnemius* i *soleus* u istegnutu poziciju (maksimalna dorzifleksija stopala). Nakon izvedbe serije do trenutnog koncentričnog mišićnog otkaza, ispitanici su s istim opterećenjem odmah zauzeli položaj maksimalne dorzalne fleksije na trenažeru, pri čemu se fokus stavlja na održavanje istezanja kroz zadani vremenski period.

Ovaj protokol osigurava dosljednost u primjeni istezanja između serija s opterećenjem, prilagođavajući se mogućnostima svakog ispitanika, uz minimalizaciju rizika od narušavanja pravilne tehnike i preciznosti rezultata.



Slika 18. Izvođenje vježbe i pozicija istezanja kod vježbe podizanje na prste na trenažeru

3.5. Statistička analiza podataka

Svi statistički postupci provedeni su korištenjem softverskog paketa *IBM SPSS Statistics* (verzija 24.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA) i programa za proračunske tablice *Microsoft Excel* (Microsoft Corporation, 2018). Analiza ultrazvučnih snimki izvedena je javno dostupnim softverom za obradu i analizu slika *ImageJ* (verzija 1.53c; National Institutes of Health, USA).

Za sve varijable izračunate su aritmetičke sredine i standardne devijacije, dok je normalnost distribucije provjerena Shapiro-Wilk testom. Homogenost varijanci između uvjeta testirana je Leveneovim testom, koji je pokazao da su varijance za sve varijable homogene. Pretpostavka sferičnosti, odnosno jednakosti varijance razlika između uvjeta, provjerena je Mauchlyjevim testom sferičnosti, koji je također potvrdio zadovoljenje ove pretpostavke.

Kako bi se utvrdilo postoje li razlike u inicijalnim vrijednostima između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta prije početka trenažnog programa, korišten je t-test za zavisne uzorke. Učinci trenažnog programa unutar svakog uvjeta procijenjeni su serijom t-testova za zavisne uzorke, uz primjenu Bonferroni korekcije kako bi se pogreška tipa I održala na razini statističke značajnosti od $p < 0,05$. Korekcija je izvedena dijeljenjem nominalne razine značajnosti s brojem t-testova, čime je za svaki pojedinačni test značajnost postavljena na $p < 0,025$. Također, t-test za zavisne uzorke korišten je pri utvrđivanju značajnosti razlike između ukupnog volumena rada između dva uvjeta, te za utvrđivanje razlika u percipiranom intenzitetu istezanja između vježbi.

Veličina učinaka trenažnog programa procijenjena je pomoću Cohenovog indeksa veličine učinka (d), koji se računao kao razlika između finalnog i inicijalnog stanja podijeljena zajedničkom standardnom devijacijom inicijalnih i finalnih vrijednosti. Prema standardima (Faul i sur., 2007), vrijednost d od 0,2 smatra se malim učinkom, 0,5 umjerenim, a 0,8 velikim učinkom. Uz to, promjene su iskazane i u postotcima, izračunate kao omjer razlike između finalnog i inicijalnog stanja s inicijalnim stanjem, pomnožen sa 100. Razlike između eksperimentalnih i kontrolnih uvjeta, odnosno učinaka trenažnih programa sa i bez istezanja s otporom na vršni moment sile, 1RM i arhitekturu mišića testirane su dvofaktorskom analizom varijance za ponovljena mjerenja (eng. *Two-Way Repeated Measures ANOVA*). Prvi faktor predstavljalo je vrijeme (inicijalno i finalno mjerenje), dok je drugi faktor bio uvjet (eksperimentalni ili kontrolni). Ako su se inicijalne vrijednosti između uvjeta značajno

razlikovale, umjesto ANOVA-e korištena je univarijatna analiza kovarijance (ANCOVA) kako bi se kontrolirao utjecaj početnih razlika.

Za analizu utjecaja vremena (inicijalno i finalno stanje), uvjeta (eksperimentalni i kontrolni) i regije mišića (tri točke mjerenja) na debljinu mišića korištena je trofaktorska analiza varijance za ponovljena mjerenja ($2 \times 2 \times 3$; eng. *Three-Factors Repeated Measures ANOVA*). U slučaju statističke značajnosti dvostrukih interakcija provedena je dvofaktorska analiza varijance za ponovljena mjerenja. Kada je to bilo potrebno, provedeni su post-hoc testovi s Bonferroni korekcijom za usporedbu pojedinih razina faktora.

Volumen opterećenja određen je na temelju ukupne količine izvedenog rada tijekom treninga, uzimajući u obzir broj serija, broj ponavljanja i korišteno opterećenje. Za svaki trening izračunat je ukupni volumen opterećenja, a zatim je prosječna vrijednost dobivena dijeljenjem ukupnog zbroja svih treninga s njihovim brojem. Statistička značajnost razlika između volumena opterećenja u različitim eksperimentalnim uvjetima ispitana je pomoću t-testa za zavisne uzorke. Takav pristup omogućuje precizniji uvid u učinke primijenjenih trenažnih programa, osobito u pogledu procjene mogućeg utjecaja eksperimentalnog uvjeta na ukupni volumen opterećenja te razlika među mišićnim skupinama i vježbama. Dobiveni podaci time pružaju važan kontekst za interpretaciju rezultata i razumijevanje potencijalnih uzroka razlika između primijenjenih trenažnih metoda.

Povezanost između promjena jakosti i promjena debljine mišića je analizirana Paersonovim koeficijentom korelacije.

Pouzdanost mjerenja debljine mišića je utvrđivana interklasnim koeficijentom korelacije (ICC) za dva ponovljena mjerenja. Da bi se dobila preciznija vrijednost pouzdanosti, odnosno kako bi se procijenilo u kojem intervalu najvjerojatnije leži stvarna vrijednost mjerenja, napravljen je Bland-Altmanov dijagram sa gornjim i donjim granicama pouzdanosti.

Statistička značajnost za sve analize postavljena je na $p < 0,05$.

4. REZULTATI

Utvrđena je normalnost distribucije za sve varijable, homogenost varijanci te jednakost varijance razlika između uvjeta, čime su zadovoljeni svi uvjeti za provođenje analize varijance (ANOVA) i analize kovarijance (ANCOVA).

Oba trenažna programa pokazala su značajna poboljšanja u svim zavisnim varijablama, osim u duljini snopova mišićnih vlakana, s umjerenim do velikim veličinama učinaka. Međutim, interakcija između uvjeta i vremena nije bila statistički značajna za većinu mjerenih parametara, što ukazuje na sličan obrazac promjena u eksperimentalnom i kontrolnom uvjetu.

4.1. Pouzdanost mjerenja

Intraklasni koeficijenti korelacije za svaku regiju svake mišićne skupine prikazani su u tablici 3. Pokazatelji gornje i donje granice pouzdanosti te odstupanje Bland-Altmanovog dijagrama za svaku mjerenu točku prikazani su u tablicama 3-7.

Tablica 3. *Intraklasni koeficijent korelacije za svaku točku mjerenja svake mišićne skupine.*

MJESTO	ICC
B80	0,99
B70	0,99
B60	0,99
T70	0,99
T60	0,98
T50	0,97
P60	0,96
P50	0,96
P40	0,97
GL	0,72
GM	0,92
S	0,81
KUT	0,83
DULJINA	0,92

LEGENDA: P60 - debljina mišića na 60 % udaljenosti sternum-acromion; P50 - debljina mišića na 50 % udaljenosti sternum-acromion; P40 - debljina mišića na 40 % udaljenosti sternum-acromion; B80 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 80 % udaljenosti acromion-olecranon; B70 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 70 % udaljenosti acromion-olecranon; B60 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 60 % udaljenosti acromion-olecranon; T70 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 70 % udaljenosti acromion-olecranon; T60 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 60 % udaljenosti acromion-olecranon; T50 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 50 % udaljenosti acromion-olecranon; GL - debljina mišića lateralni gastrocnemius; GM - debljina mišića medijalni gastrocnemius; S - debljina mišića soleus; KUT - kut penacije mišića medijalni gastrocnemius; DULJINA - duljina vlakana mišića gastrocnemius medialis.

Tablica 4. *Pokazatelji gornje i donje granice pouzdanosti te odstupanje (eng. bias) Bland-altmanovog dijagrama debljine mišića biceps brachii.*

BICEPS BRACHII	B80	B70	B60
ODSTUPANJE	0,00	0,22	0,03
SD	0,62	0,87	0,59
GGP	1,22	1,91	1,19
DGP	-1,22	-1,48	-1,13

Legenda: odstupanje – razlika aritmetičkih sredina dvaju mjerenja; SD - standardna devijacija; GGP - gornja granica pouzdanosti; DGP - donja granica pouzdanosti; B80 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 80 % udaljenosti acromion-olecranon; B70 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 70 % udaljenosti acromion-olecranon; B60 - debljina mišića prednje strane nadlaktice na 60 % udaljenosti acromion-olecranon.

Tablica 5. *Pokazatelji gornje i donje granice pouzdanosti te odstupanje Bland-altmanovog dijagrama debljine mišića triceps brachii.*

TRICEPS BRACHII	T70	T60	T50
ODSTUPANJE	-0,30	0,05	-0,29
SD	0,72	0,96	1,27
GGP	1,11	1,93	2,20
DGP	-1,72	-1,83	-2,78

Legenda: odstupanje – razlika aritmetičkih sredina dvaju mjerenja, SD - standardna devijacija, GGP - gornja granica intervala pouzdanosti, DGP - donja granica intervala pouzdanosti; T70 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 70 % udaljenosti acromion-olecranon; T60 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 60 % udaljenosti acromion-olecranon; T50 - debljina mišića stražnje strane nadlaktice na 50 % udaljenosti acromion-olecranon

Tablica 6. *Pokazatelji gornje i donje granice pouzdanosti te odstupanje Bland-Altmanovog dijagrama debljine mišića pectoralis major.*

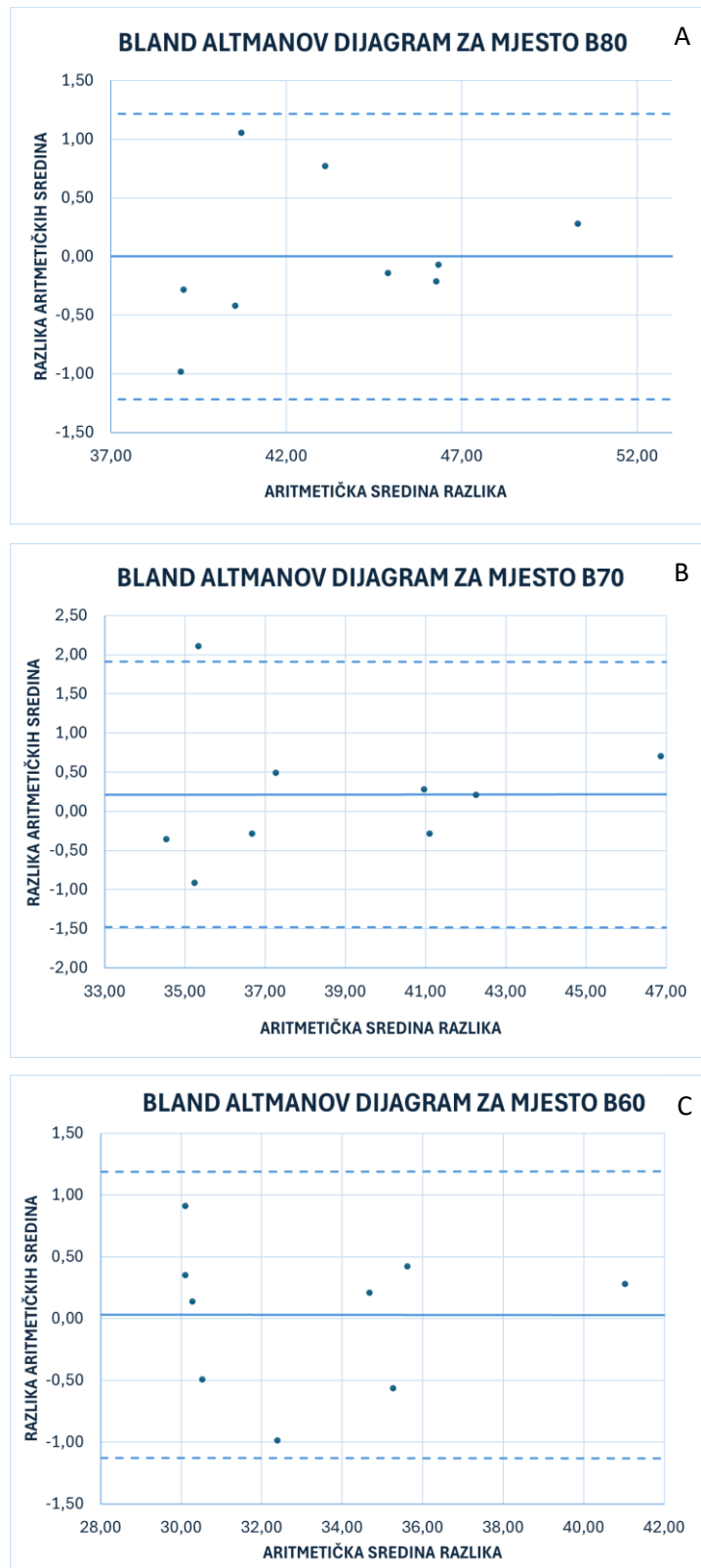
PECTORALIS MAJOR	P60	P50	P40
ODSTUPANJE	0,09	-0,31	-0,62
SD	1,70	1,49	0,80
GGP	3,43	2,60	0,93
DGP	-3,25	-3,22	-2,18

Legenda: odstupanje– razlika aritmetičkih sredina dvaju mjerenja, SD- standardna devijacija, GGP - gornja granica intervala pouzdanosti, DGP - donja granica intervala pouzdanosti. P60 - debljina mišića na 60 % udaljenosti sternum-acromion; P50 - debljina mišića na 50 % udaljenosti sternum-acromion; P40 - debljina mišića na 40 % udaljenosti sternum-acromion

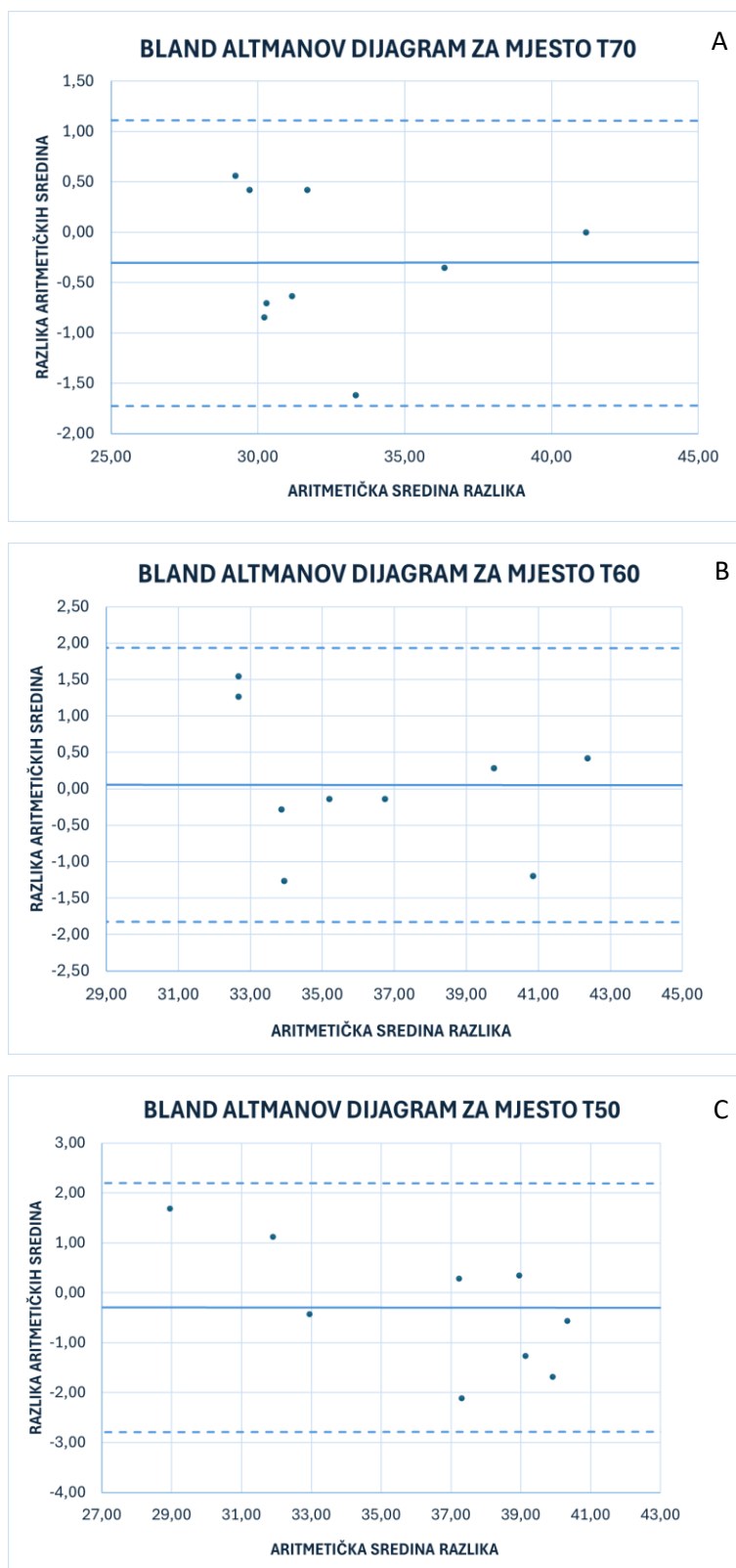
Tablica 7. Pokazatelji gornje i donje granice pouzdanosti te odstupanje Bland-Altmanovog dijagrama debljine i arhitekture mišića triceps surae.

TRICEPS SURAE	GL	GM	S	KUT	DULJINA
ODSTUPANJE	0,20	0,35	0,17	-1,2	-1,48
SD	1,19	1,32	1,35	2,49	4,38
GGP	2,53	2,95	2,81	3,68	7,10
DGP	-2,14	-2,25	-2,47	-6,08	-10,07

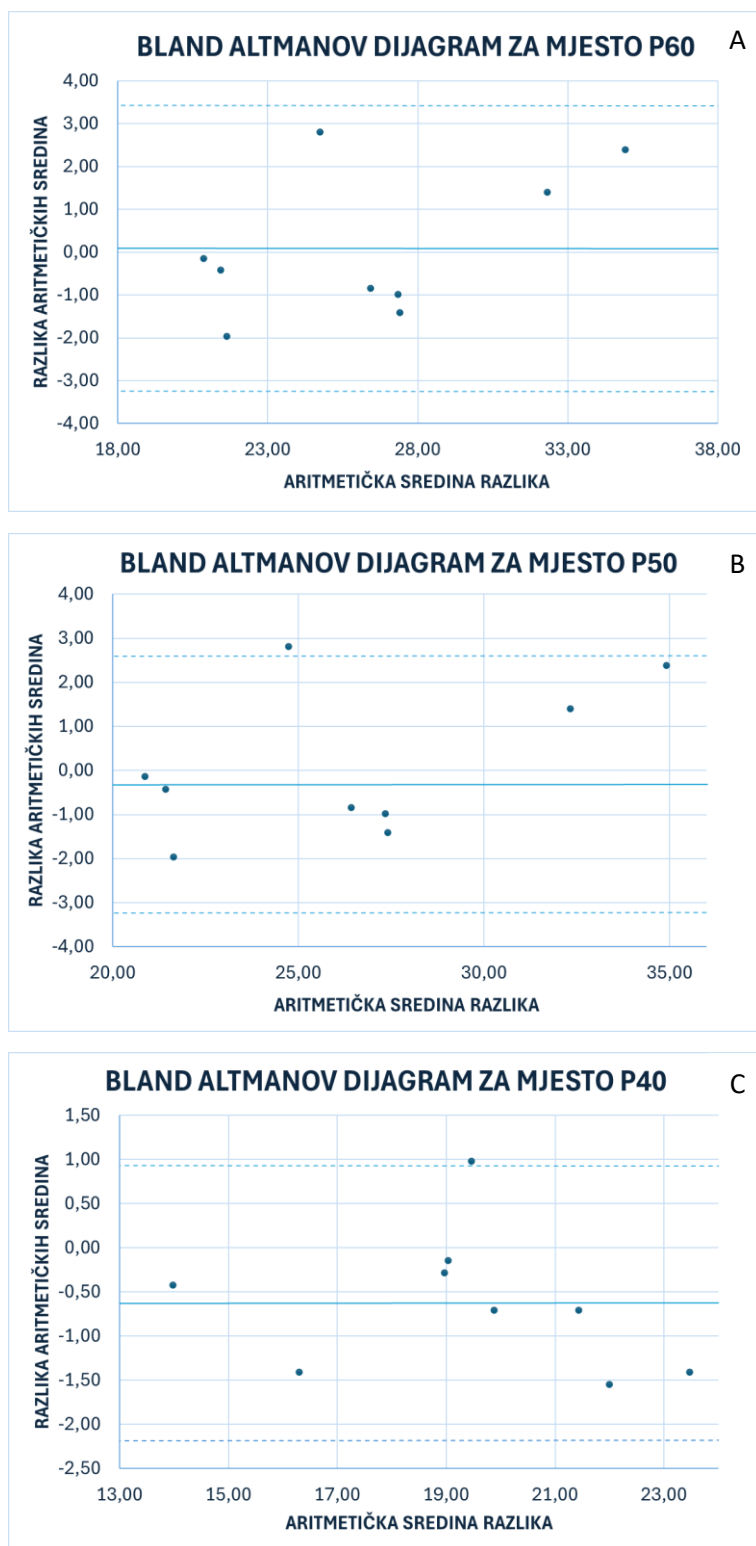
LEGENDA: odstupanje– razlika aritmetičkih sredina dvaju mjerenja, SD - standardna devijacija, GGP - gornja granica intervala pouzdanosti, DGP - donja granica intervala pouzdanosti. GL - debljina mišića lateralni gastrocnemius; GM - debljina mišića medijalni gastrocnemius; S - debljina mišića soleus; KUT - kut penacije mišića medijalni gastrocnemius; DULJINA -duljina vlakana mišića gastrocnemius medialis.



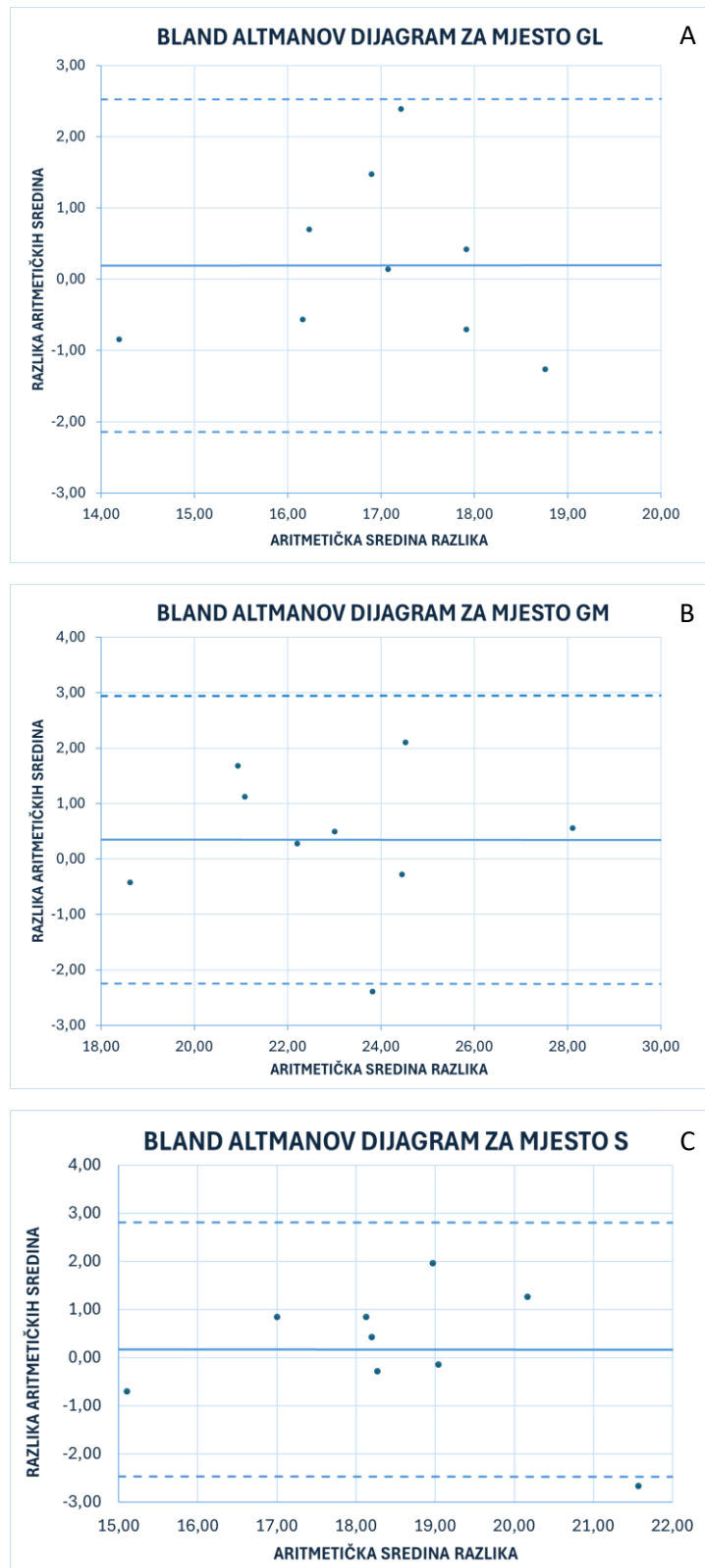
Slika 19. Bland-Altmanov dijagram za debljinu mišića biceps brachii na pojedinim mjernim mjestima: B80 - na 80 % (A), B70 - na 70 % (B), i B60 - na 60 % udaljenosti između acromiona i olecranona (C). Isprekidane linije označuju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija predstavlja srednju vrijednost odstupanja.



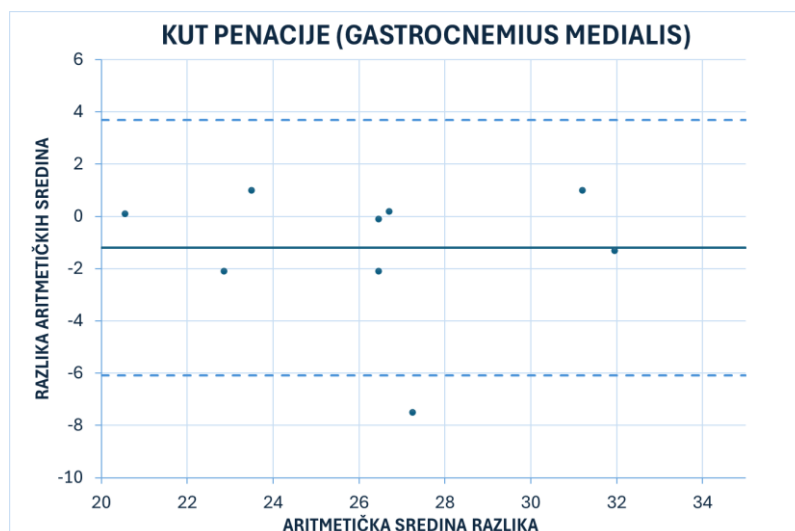
Slika 20. Bland-Altmanov dijagram za debljinu mišića triceps brachii na pojedinim mjernim mjestima: T70 - na 70 % (A), T60 - na 60 % (B), i T50 - na 50 % udaljenosti između acromiona i olecranona (C). Isprekidane linije predstavljaju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija označuje srednju vrijednost odstupanja.



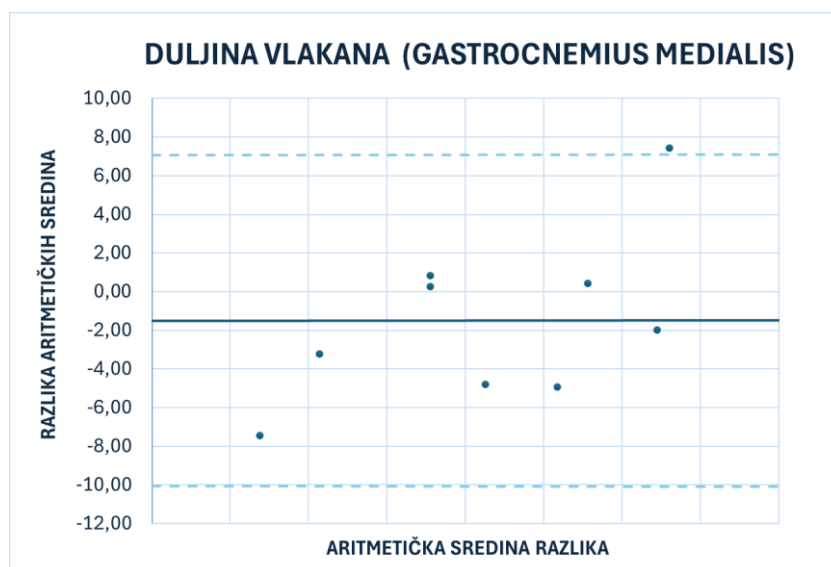
Slika 21. Bland-Altmanov dijagram za debljinu mišića pectoralis major na pojedinim mjernim mjestima: P60 - na 60 % (A), P50 - na 50 % (B), a P40 - na 40 % udaljenosti između sternuma i acromiona (C). Isprekidane linije predstavljaju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija označuje srednju vrijednost odstupanja.



Slika 22. Bland-Altmanov dijagram za debljinu mišića triceps surae na pojedinim mjernim mjestima: GL - gastrocnemius lateralis (A), GM - gastrocnemius medialis (B), i S - soleus (C). Isprekidane linije predstavljaju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija označuje srednju vrijednost odstupanja.



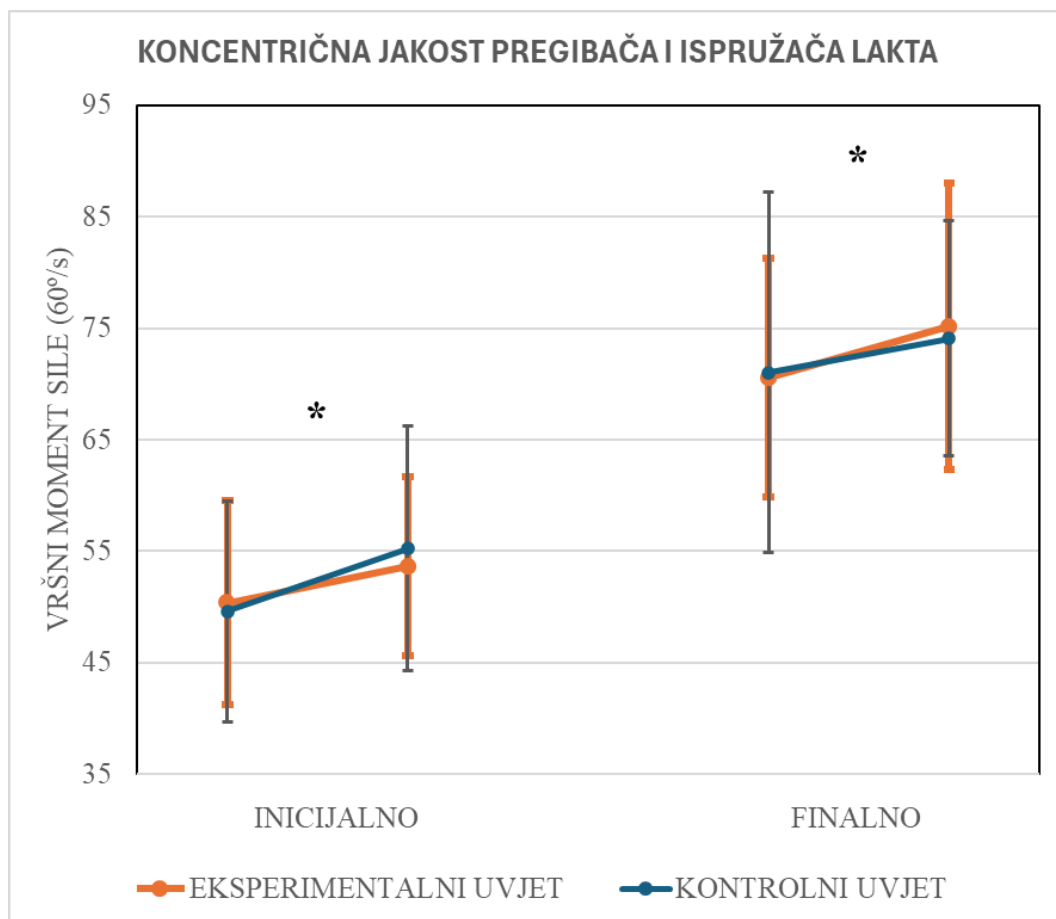
Slika 23. Bland-Altmanov dijagram za kut penacije mišića gastrocnemius medialis. Isprekidane linije predstavljaju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija označuje srednju vrijednost odstupanja.



Slika 24. Bland-Altmanov dijagram za duljinu snopova mišićnih vlakana mišića gastrocnemius medialis. Isprekidane linije predstavljaju gornju i donju granicu pouzdanosti, dok puna linija označuje srednju vrijednost odstupanja.

4.2. Vršni moment sile pregibanja i ispružanja lakta ($60^\circ/\text{s}$) i jedno maksimalno ponavljanje (1RM)

Vršni moment sile pregibanja i ispružanja lakta, promjene unutar eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta, veličine učinaka (Cohenov d), veličine promjena (%), te statistička značajnost razlika prikazani su u Tablici 8 i na Slici 25.



Slika 25. Prosječne vrijednosti vršnog momenta sile pregibanja i ispružanja lakta u inicijalnom i finalnom stanju eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta. (* - statistički značajna promjena u vremenu).

Tablica 8. Deskriptivni pokazatelji vršnog momenta sile (Nm/kg) ispružanja i pregibanja lakta pri kutnoj brzini od 60 °/s inicijalnog i finalnog stanja eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta, veličina učinka (Cohenov d), veličina promjene (%), statistička značajnost razlika inicijalnog i finalnog stanja unutar uvjeta, u vremenu i statistička značajnost razlika u promjenama između inicijalnog i finalnog stanja u oba uvjeta (interakcija uvjet $\times$ vrijeme).

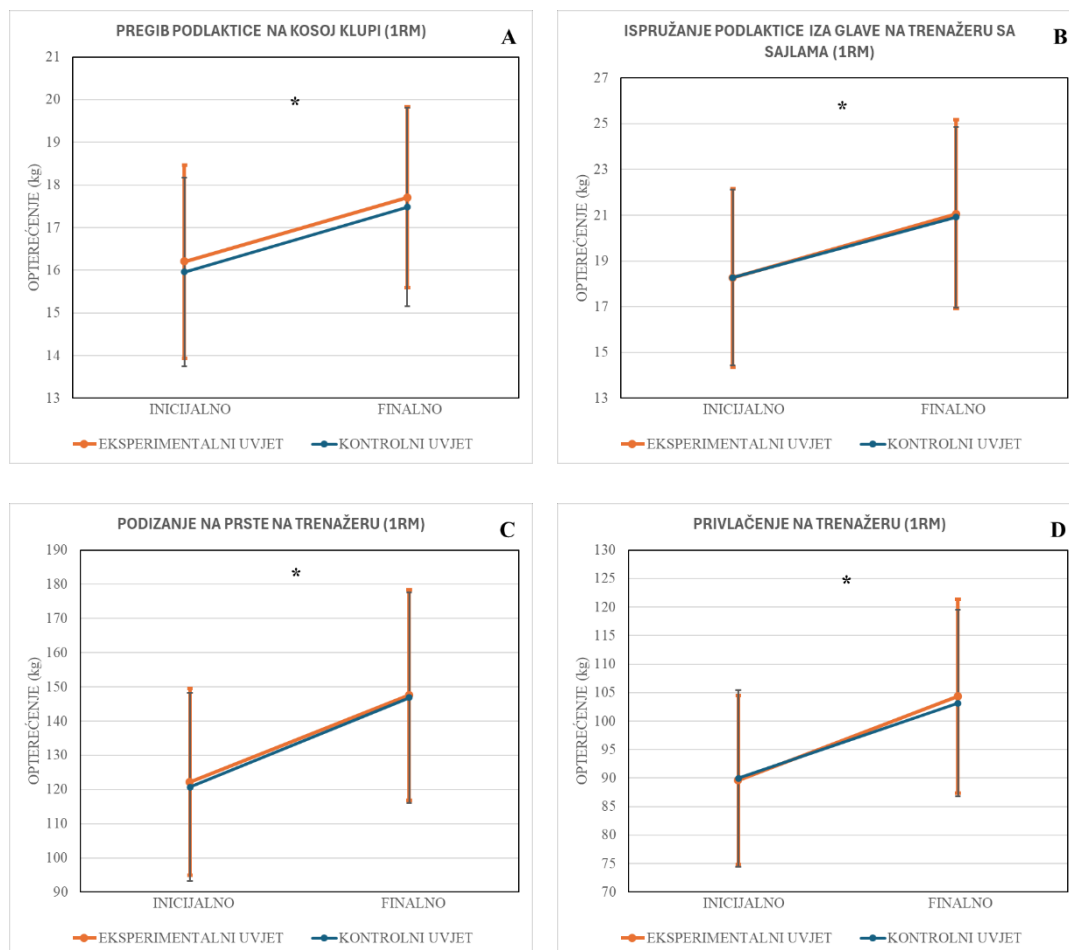
			EKSPERIMENTALNI UVJET			KONTROLNI UVJET			ANOVA			
			AS±SD	VELIČINA UČINKA Cohen d	VELIČINA PROMJENE %	AS±SD	VELIČINA UČINKA Cohen d	VELIČINA PROMJENE %	INTERAKCIJA (uvjet x vrijeme)		UVJET	VRIJEME
									F(1,24)	η² (p)		
VRŠNI MOMENT SILE (60 °/s)	PREGIBANJE	INICIJALNO	50,39±9,17	0,37	6,11	49,60±9,94	0,53	10,23	1,16	0,04 (0,29)	0,01 (0,69)	0,39 (0,00)*
		FINALNO	53,67±8,00			55,25±10,93						
	ISPRUŽANJE	INICIJALNO	70,59±10,70	0,38	6,08	71,03±16,16	0,22	4,13	0,05	0,02 (0,50)	0,02 (0,83)	0,25 (0,01)*
		FINALNO	75,16±12,81			74,09±10,51						
1RM BICEPS BRACHII		INICIJALNO	16,20±2,27	0,67	8,53	15,96±2,21	0,68	8,70	0,00	0,95 (0,00)	0,18 (0,03)*	0,39 (0,00)*
		FINALNO	17,71±2,12			17,48±2,33						
1RM TRICEPS BRACHII		INICIJALNO	18,26±3,90	0,68	13,25	18,27±3,84	0,64	12,63	0,88	0,03 (0,36)	0,01 (0,61)	0,56 (0,00)*
		FINALNO	21,05±4,13			20,91±3,94						
1RM PECTORALIS MAJOR		INICIJALNO	89,62±14,82	0,91	14,13	89,95±15,54	0,81	12,81	2,53	0,09 (0,12)	0,03 (0,40)	0,56 (0,00)*
		FINALNO	104,37±17,02			103,16±16,35						
1RM TRICEPS SURAE		INICIJALNO	122,16±27,32	0,84	17,22	120,67±27,46	0,86	17,82	1,48	0,06 (0,24)	0,16 (0,04)*	0,53 (0,00)*
		FINALNO	147,57±30,72			146,83±30,71						

LEGENDA: * $p < 0,05$; AS = aritmetička sredina; SD = standardna devijacija; η^2 = djelomična kvadrirana eta; p = p-vrijednost

Iako interakcija između uvjeta i vremena nije bila statistički značajna niti za pregibanje ($p = 0,29$) niti za ispružanje lakta ($p = 0,50$), oba su uvjeta ostvarila porast vršnog momenta sile. Kod pregibanja lakta primijećena je nešto veća veličina učinka u kontrolnom uvjetu ($d = 0,53$) u usporedbi s eksperimentalnim ($d = 0,37$), dok su veličine promjena iznosile 10,23% u kontrolnom i 6,11 % u eksperimentalnom uvjetu. Kod ispružanja lakta oba su uvjeta pokazala male veličine učinaka (eksperimentalna: $d = 0,38$; kontrolna: $d = 0,22$), a veličine promjena iznosile su 6,08% za eksperimentalni i 4,13% za kontrolni uvjet.

U svim analiziranim parametrima jednog maksimalnog ponavljanja za mišiće *biceps brachii*, *triceps brachii*, *pectoralis major* i *triceps surae* (slika 26), eksperimentalni i kontrolni uvjet pokazali su slične rezultate s obzirom na veličine učinaka i promjene kroz vrijeme. Kod 1RM *biceps brachii* i *triceps brachii* zabilježene su umjerene veličine učinaka (*biceps brachii*: $d = 0,67$ – $0,68$; *triceps brachii*: $d = 0,64$ – $0,68$), dok su kod 1RM *pectoralis major* i *triceps surae* zabilježene velike veličine učinaka (*pectoralis major*: $d = 0,81$ – $0,91$; *triceps surae*: $d = 0,84$ – $0,86$). Promjene kroz vrijeme bile su značajne za sve mjere ($\eta^2 = 0,18$ – $0,56$; $p < 0,05$), s povećanjima u 1RM koje su bile slične između uvjeta (*biceps brachii*: 8,53%–8,70%; *triceps brachii*: 12,63%–13,25%; *pectoralis major*: 12,81%–14,13%; *triceps surae*: 17,22%–17,82%).

Međutim, interakcije između uvjeta nisu bile statistički značajne ($\eta^2 = 0,00\text{--}0,09$; $p = 0,12\text{--}0,95$), što ukazuje na to da nije bilo značajnih razlika u učincima između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta. Ovi rezultati sugeriraju da su obje intervencije imale sličan utjecaj na poboljšanje mišićne jakosti.



Slika 26. Porast procijenjenog 1RM za eksperimentalni i kontrolni uvjet u vježbama pregib podlaktice na kosoj klupi (A), ispružanje iznad glave na trenažeru sa sajlama (B), podizanje na prste na trenažeru (C), privlačenje na trenažeru (D). (* - statistički značajna promjena u vremenu).

4.3. Debljina mišića

Vrijednosti debljine mišića po regijama svih analiziranih mišićnih skupina zajedno s veličinama učinka (Cohenov d) i postotkom promjena (%) statistička značajnost razlika između inicijalnog i finalnog stanja između uvjeta po regijama mišića prikazane su u tablici 9.

Tablica 9. Debljine mišića ($AS \pm SD$) po regijama za pojedine mišiće u inicijalnom i finalnom mjerenju, veličina učinka (Cohen d), veličina promjene (%) te rezultati trofaktorske ANOVE za ponovljena mjerenja (vrijeme $\times$ uvjet $\times$ regija)

TOČKA MJERENJA POJEDINOG MIŠIĆA	TRENAŽNI UVJET	DEBLJINA MIŠIĆA ($AS \pm SD$)		VELIČINA UČINKA Cohen d	VELIČINA PROMJENE %	ANOVA (F, p, η^2)						
		Inicijalno	Finalno			Vrijeme	Uvjet	Regija	Vrijeme $\times$ Uvjet	Vrijeme $\times$ Regija	Uvjet $\times$ Regija	Vrijeme $\times$ Uvjet $\times$ Regija
P60	ISO	23,64 $\pm$ 4,29	26,98 $\pm$ 4,42	0,73	12,33	51,81 <0,00* 0,67	0,81 0,38 0,03	160,6 2 <0,00* 0,86	20,46 <0,00* 0,44	4,3 0,02* 0,14	0,32 0,75 0,01	1,63 0,21 0,06
	KON	23,91 $\pm$ 4,73	25,89 $\pm$ 3,97	0,44	7,11							
P50	ISO	20,87 $\pm$ 4,68	24,00 $\pm$ 4,63	0,63	12,66							
	KON	21,19 $\pm$ 4,16	23,01 $\pm$ 3,69	0,46	7,65							
P40	ISO	18,35 $\pm$ 3,85	20,72 $\pm$ 4,10	0,59	11,66	83,82 <0,00* 0,763	0,15 702 0,01	1008,38 <0,00* 0,98	3,69 0,06 0,13	3,01 0,07 0,19	2,6 0,09 0,17	0,72 0,50 0,05
	KON	18,62 $\pm$ 3,83	20,23 $\pm$ 3,62	0,42	7,96							
B80	ISO	40,66 $\pm$ 3,73	43,17 $\pm$ 3,13	0,72	5,91							
	KON	40,78 $\pm$ 3,68	42,83 $\pm$ 3,10	0,58	4,82							
B70	ISO	36,10 $\pm$ 4,05	39,22 $\pm$ 3,20	0,85	8,05	12,23 0,00* 0,33	1,79 0,19 0,07	74,68 <0,00* 0,86	0,17 0,68 0,01	2,1 0,14 0,15	1,79 0,19 0,13	1,53 0,24 0,11
	KON	36,83 $\pm$ 3,78	39,12 $\pm$ 3,15	0,62	5,7							
B60	ISO	31,07 $\pm$ 3,36	34,05 $\pm$ 3,20	0,9	8,94							
	KON	31,31 $\pm$ 3,47	33,84 $\pm$ 3,19	0,74	7,48							
T70	ISO	32,27 $\pm$ 3,02	32,81 $\pm$ 3,76	0,14	1,39	41,48 <0,00* 0,62	0,01 0,91 0,00	77,99 <0,00* 0,76	0,17 0,68 0,01	0,77 0,47 0,06	0,27 0,76 0,02	0,02 0,98 0,00
	KON	31,77 $\pm$ 3,50	33,15 $\pm$ 3,50	0,36	3,8							
T60	ISO	35,44 $\pm$ 3,72	37,11 $\pm$ 3,77	0,43	4,36							
	KON	35,98 $\pm$ 4,08	37,68 $\pm$ 3,62	0,42	4,28							
T50	ISO	34,19 $\pm$ 4,53	35,87 $\pm$ 4,68	0,34	4,59	17,68 <0,00* 0,33	1,79 0,19 0,07	74,68 <0,00* 0,86	0,17 0,68 0,01	2,1 0,14 0,15	1,79 0,19 0,13	1,53 0,24 0,11
	KON	34,97 $\pm$ 5,28	36,30 $\pm$ 4,69	0,28	3,99							
GL	ISO	15,36 $\pm$ 2,30	16,97 $\pm$ 1,88	0,71	9,01							
	KON	15,26 $\pm$ 2,02	16,96 $\pm$ 1,86	0,82	9,66							
GM	ISO	21,85 $\pm$ 3,13	23,25 $\pm$ 2,99	0,44	5,69	17,68 <0,00* 0,33	1,79 0,19 0,07	74,68 <0,00* 0,86	0,17 0,68 0,01	2,1 0,14 0,15	1,79 0,19 0,13	1,53 0,24 0,11
	KON	21,97 $\pm$ 3,59	23,48 $\pm$ 3,21	0,43	6,22							
S	ISO	17,68 $\pm$ 2,70	18,77 $\pm$ 2,15	0,41	5,42							
	KON	17,47 $\pm$ 2,42	18,60 $\pm$ 2,10	0,49	6,15							

LEGENDA: ISO – eksperimentalni uvjet; KON – kontrolni uvjet; AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; P60/P50/P40 – debljina mišića *pectoralis major* na 60/50/40 % udaljenosti između sternuma i acromiona; B80/70/60 – debljina mišića *biceps brachii* na 80/70/60 % udaljenosti između acromiona i olecranona; T70/60/50 – debljina mišića *triceps brachii* na 70/60/50 % udaljenosti između acromiona i olecranona; GL – debljina mišića *gastrocnemius lateralis*; GM – debljina mišića *gastrocnemius medialis*; S – debljina mišića *soleus*.

Rezultati pokazuju da su oba uvjeta tijekom vremena zabilježila značajna povećanja debljine mišića, uz slične veličine učinaka i postotke promjena. Glavni učinci vremena bili su statistički značajni za sve varijable. Međutim, izostanak značajnih interakcija između uvjeta i vremena te regije i vremena, osim kod mišića *pectoralis major* sugerira da dodatna intervencija u eksperimentalnom uvjetu nije imala statistički značajan dodatni učinak u usporedbi s kontrolnim uvjetom.

T-testom za zavisne uzorke nisu otkrivene statistički značajne razlike između uvjeta u inicijalnom stanju debljine svih mišića.

4.2.1. Debljina mišića *pectoralis major*

Dobivena je značajna interakcija između vremena i uvjeta, te vremena i regije.

Na faktorima vrijeme (inicijalno i finalno) i regija (tri točke mjerenja), rezultati pokazuju značajne glavne efekte oba faktora, kao i njihovog međudjelovanja, što upućuje na značajno poboljšanje rezultata između inicijalnog i finalnog mjerenja, kao i na razlike u rezultatima među različitim regijama. Štoviše, interakcija između vremena i regije ukazuje na to da promjene u rezultatima ovise o regiji (tablica 10).

U eksperimentalnom uvjetu, rezultati pokazuju da su debljine mišića *pectoralis major* značajno porasle od inicijalnog prema finalnom mjerenju, s većim poboljšanjima u P60 i P50 u odnosu na regiju P40. U kontrolnom uvjetu, također je došlo do značajnog poboljšanja, ali su promjene u debljini mišića bile manje izražene, a interakcija između vremena i regije nije bila značajna.

Debljine mišića *pectoralis major* su u svim točkama mjerenja značajno porasle od inicijalnog prema finalnom mjerenju u oba uvjeta, no veličina promjene bila je značajno veća u eksperimentalnom uvjetu. U kontrolnom uvjetu, promjene su bile manjih razmjera, a nejednakost među regijama bila je manja.

Tablica 10. *Rezultati analize varijabli debljine mišića pectoralis major u odnosu na vrijeme, regiju i njihovu interakciju u eksperimentalnom i kontrolnom uvjetu*

	ISO			Kontrolni uvjet		
	F	η^2	p	F	η^2	p
VRIJEME	66,3	0,718	< 0,001*	27,5	0,514	< 0,001*
REGIJA	122,5	0,907	< 0,001*	61,4	0,831	< 0,001*
VRIJEME × REGIJA	10,9	0,465	< 0,001*	0,9	0,064	0,436

Legenda: F – F-vrijednost; η^2 – djelomična kvadrirana eta; p – p-vrijednost.

Post hoc analiza (tablica 11) pokazala je da su sve regije doživjele značajna poboljšanja između inicijalnog i finalnog mjerenja, ali veličina tih poboljšanja bila je veća u regijama P60 i P50 u usporedbi s regijom P40. Regija P60 imala je najveći ukupni napredak.

Tablica 11. *Post hoc rezultati interakcije vrijeme × regija na mišiću pectoralis major za eksperimentalni i kontrolni uvjet*

Uvjet	Usporedba parova	Razlika AS	SE	p-vrijednost
ISO	Vrijeme (Inicijalno vs. Finalno)	-2,94	0,362	< 0,001*
	P60 vs P50	2,87	0,330	< 0,001*
	P60 vs P40	5,78	0,362	< 0,001*
	P50 vs P40	2,90	0,332	< 0,001*
Kontrolni uvjet	Vrijeme (Inicijalno vs. Finalno)	-1,80	0,344	< 0,001*
	P60 vs P50	2,80	0,358	< 0,001*
	P60 vs P40	5,48	0,487	< 0,001*
	P50 vs P40	2,68	0,317	< 0,001*

Legenda: SE = standardna pogreška srednje vrijednosti; P60/P50/P40 – debljina mišića *pectoralis major* na 60/50/40 % udaljenosti između sternuma i acromiona.

Analiza rezultata dvofaktorske analize varijance za ponovljena mjerenja na debljini mišića *pectoralis major* pokazuje statističku značajnost interakcije između vremena i uvjeta u svim točkama mjerenja s umjerenim η^2 (tablica 12). Značajni su efekti glavnog faktora vremena u svim točkama mjerenja (P60, P50 i P40) uz η^2 koji ukazuju na veliku veličinu efekta, dok glavni efekt uvjeta nije statistički značajan.

Tablica 12. *Rezultati analize varijabli debljine mišića pectoralis major na 60 %, 50 % i 40 % udaljenosti između sternuma i acromiona u odnosu na vrijeme, uvjet i njihovu interakciju.*

	P60			P50			P40		
	F	η^2	p	F	η^2	p	F	η^2	p
VRIJEME	52,3	0,668	< 0,001*	43,7	0,627	< 0,001*	36,6	0,585	< 0,001*
UVJET	0,7	0,029	0,388	0,9	0,033	0,356	0,1	0,004	0,737
VRIJEME × UVJET	11,5	0,307	0,002*	15,9	0,379	< 0,001*	9,1	0,260	0,006*

Legenda: F - F-vrijednost; ; η^2 – djelomična kvadrirana eta; p- p-vrijednost; P60/P50/P40 – debljina mišića *pectoralis major* na 60/50/40 % udaljenosti između sternuma i acromiona.

4.2.2. Debljina mišića *biceps brachii*

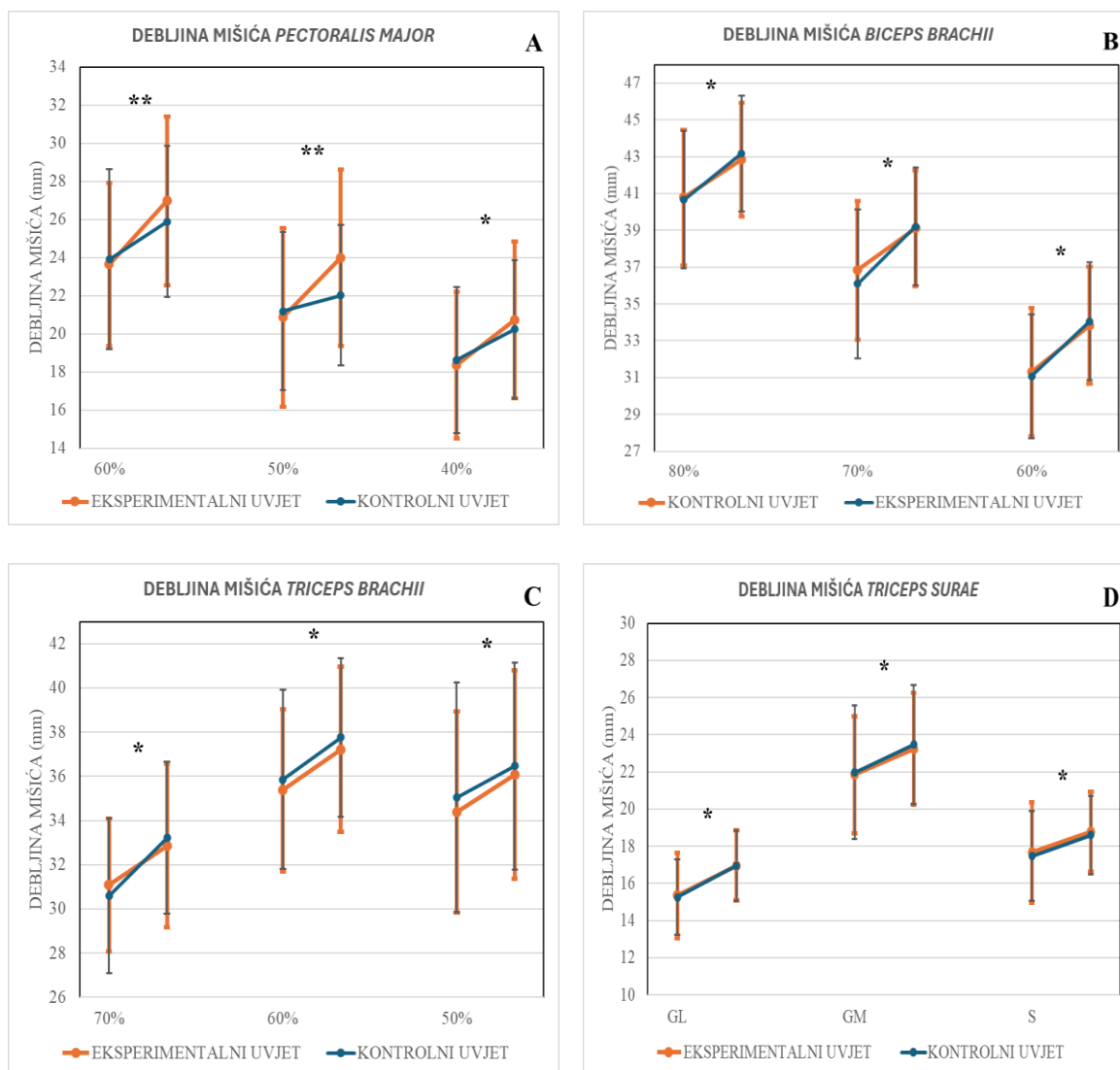
Trofaktorska ANOVA pokazala je značajno povećanje debljine mišića *biceps brachii* na sve tri točke kroz vrijeme ($p < 0,001$) i po regijama ($p < 0,001$). Niti jedna interakcija nije bila značajna za niti jednu točku, zbog čega nije provedena post-hoc analiza.

4.2.3. Debljina mišića *triceps brachii*

Trofaktorska ANOVA pokazala je značajno povećanje debljine mišića *triceps brachii* na dvije od tri točke kroz vrijeme (T70: $p = 0,02$; T60: $p = 0,00$; T50: $p = 0,01$). Interakcija uvjeta i vremena nije bila značajna za niti jednu točku (T70: $p = 0,12$; T60: $p = 0,91$; T50: $p = 0,60$), zbog čega nije provedena post-hoc analiza. Veličine učinaka za eksperimentalni i kontrolni uvjet bile su: T70 (0,14 vs. 0,36), T60 (0,43 vs. 0,42), i T50 (0,34 vs. 0,28).

4.2.4. Debljina mišića *triceps surae*

Dvofaktorska ANOVA pokazala je značajno povećanje debljine mišića *triceps surae* na sve tri točke kroz vrijeme ($p = 0,00$). Interakcija uvjeta i vremena nije bila značajna za niti jednu regiju (GL: $p = 0,71$; GM: $p = 0,90$; S: $p = 0,90$), zbog čega nije provedena post-hoc analiza. Veličine učinaka za eksperimentalni i kontrolni uvjet bile su: GL (0,71 vs. 0,82), GM (0,44 vs. 0,43), i S (0,41 vs. 0,49).



Slika 27. Debljine mišića pectoralis major (A), biceps brachii (B), triceps brachii (C) i triceps surae (D) u tri točke mjerenja inicijalnog i finalnog stanja eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta. (* - statistički značajna promjena u vremenu; ** - statistički značajna interakcija vrijeme x uvjet).

4.3. Arhitektura mišića

Vrijednosti duljine snopova mišićnih vlakana i kuta penacije mišića *gastrocnemius medialis* (slika 28) zajedno s veličinama učinka (Cohenov d) i postotkom promjena (%) inicijalnog i finalnog stanja eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta prikazane su u Tablici 13.

Tablica 13. *Duljine snopova mišićnih vlakana i kuta penacije inicijalnog i finalnog stanja eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta mišića gastrocnemius medialis, te veličina učinka (Cohenov d) i postotak promjene (%)*

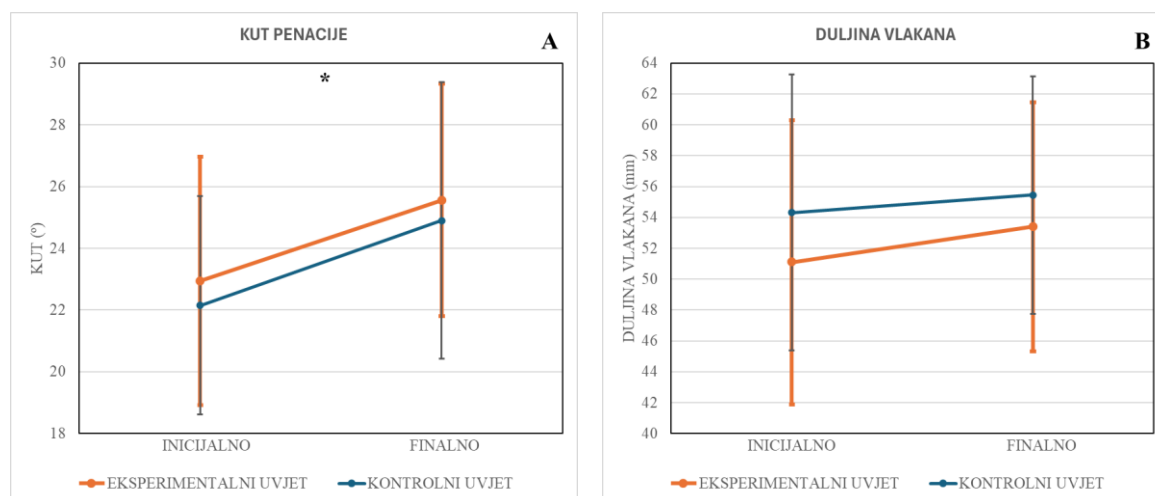
ARHITEKTURA MIŠIĆA		EKSPERIMENTALNI UVJET			KONTROLNI UVJET		
		AS ± SD	VELIČINA UČINKA Cohen d	VELIČINA PROMJENE %	AS ± SD	VELIČINA UČINKA Cohen d	VELIČINA PROMJENE %
KUT PENACIJE	INICIJALNO	22,94 ± 4,02	0,67	10,34	22,15 ± 3,54	0,68	11,11
	FINALNO	25,58 ± 3,76			24,90 ± 4,47		
DULJINA	INICIJALNO	51,09 ± 9,21	0,06	4,31	54,31 ± 8,93	0,03	2,06
	FINALNO	53,39 ± 8,06			55,45 ± 7,68		

T-test za zavisne uzorke nije otkrio statistički značajne razlike između uvjeta u inicijalnom stanju za kut penacije, međutim, utvrđena je značajna razlika između uvjeta u inicijalnom stanju za duljinu snopova mišićnih vlakana.

Rezultati dvofaktorske ANOVA-e pokazali su da interakcija između uvjeta i vremena u varijabli kut penacije nije bila statistički značajna ($F(1,24) = 0,02$; $p = 0,90$; $\eta^2 = 0,00$). Analiza glavnih efekata otkrila je da učinak uvjeta nije bio statistički značajan ($F(1,24) = 0,04$; $p = 0,32$; $\eta^2 = 0,02$), što ukazuje na odsutnost značajnih razlika u ukupnim promjenama kuta između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta. S druge strane, učinak vremena bio je statistički značajan ($F(1,24) = 0,45$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,45$).

Rezultati ANCOVA-e za varijablu duljina snopova mišićnih vlakana pokazali su da je inicijalno stanje imalo značajan utjecaj na završne vrijednosti ($F(1,49) = 32,85$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,401$). Ovo ukazuje da početna duljina snopova mišićnih vlakana predstavlja važan prediktor njihovih završnih vrijednosti, neovisno o eksperimentalnom ili kontrolnom uvjetu. Učinak uvjeta (eksperimentalni vs. kontrolni) nije bio statistički značajan ($F(1,49) = 0,03$; $p = 0,869$; $\eta^2 = 0,001$), što implicira da trening koji koristi metodu istezanja s otporom između serija nije

doveo do značajnijeg porasta duljine snopova mišićnih vlakana u usporedbi s treningom bez istezanja.



Slika 28. Grafički prikaz prosječnih vrijednosti kuta penacije (A) i duljine vlakana (B) mišića medijalni gastrocnemius, u inicijalnom i finalnom stanju eksperimentalnog (plave linije) i kontrolnog uvjeta (crvene linije). (* - statistički značajna promjena u vremenu).

4.4. Percipirani intenzitet istezanja

Vrijednosti percipiranog intenziteta istezanja pojedinih mišićnih skupina prikazani su u tablici 14, a statistička značajnost razlika u percipiranom intenzitetu istezanja po parovima mišića prikazana je u tablici 15.

Tablica 14. Aritmetičke sredine i standardne devijacije percipiranog intenziteta istezanja ispitanika za analizirane mišiće.

	INTENZITET ISTEZANJA (AS ± SD)
BICEPS BRACHII	7,59 ± 1,08
TRICEPS BRACHII	5,69 ± 1,33
PECTORALIS MAJOR	9,11 ± 1,28
TRICEPS SURAE	7,50 ± 1,46

Tablica 15. Značajnost razlika u percipiranom intenzitetu istezanja između mišićnih skupina.

	t	p
PRSA - LIST	4,35	0,00*
PRSA - TRICEPS	9,55	0,00*
PRSA - BICEPS	4,05	0,00*
LIST - BICEPS	-0,26	0,80
LIST - TRICEPS	4,79	0,00*
BICEPS - TRICEPS	5,51	0,00*

4.5. Ukupni trenažni volumen

Prosječni trenažni volumeni svih vježbi eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta te statistička značajnost razlika između njih prikazana je u tablici 16.

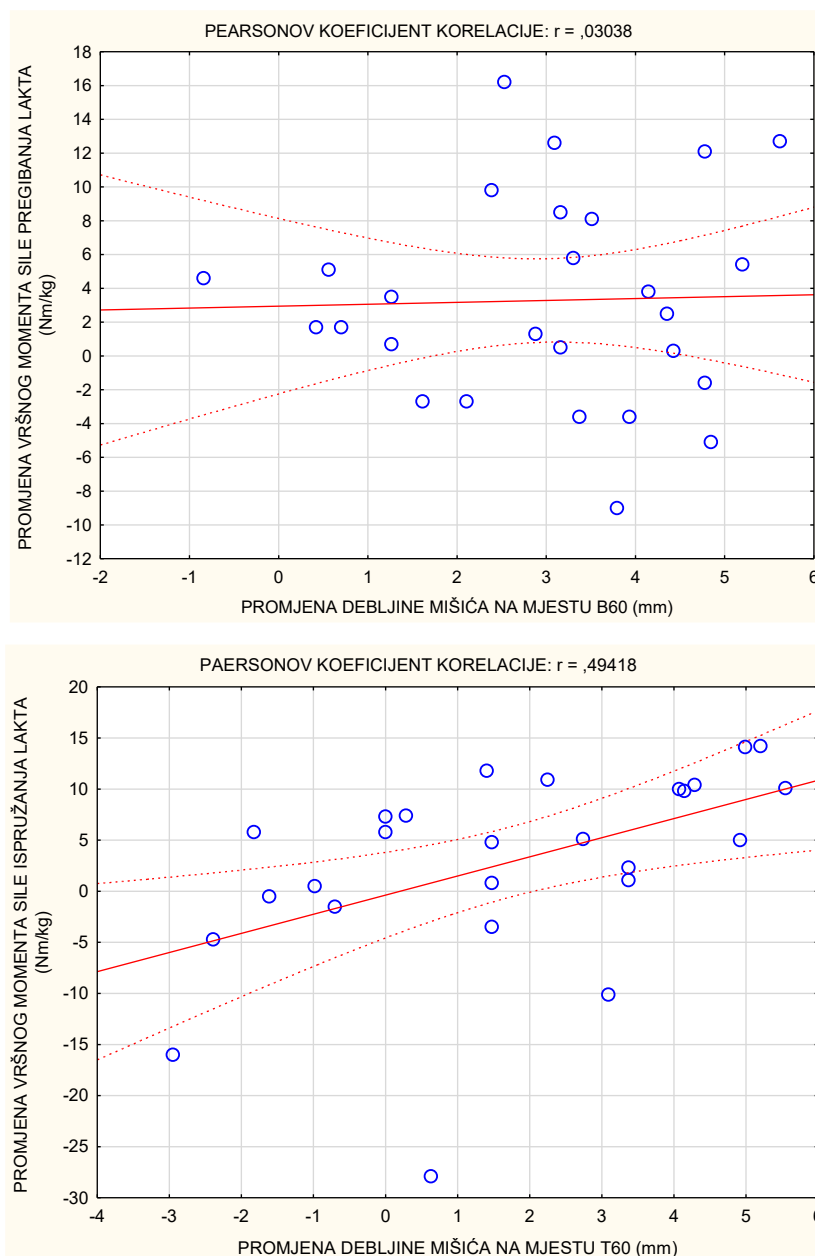
Tablica 16. *Prosječni trenažni volumen svih vježbi za eksperimentalni i kontrolni uvjet te statistička značajnost razlika između njih.*

VJEŽBA	KONTROLNI UVJET	EKSPERIMENTALNI UVJET	t	p
PREGIB LAKTA NA KOSOJ KLUPI	401,25	381,63	6,57	0,00*
ISPRUŽANJE LAKTA IZA GLAVE NA TRENAŽERU SA SAJLAMA	469,40	462,78	1,82	0,07
PRIVLAČENJE NA TRENAŽERU	2968,26	2748,95	7,01	0,00*
PODIZANJE NA PRSTE NA TRENAŽERU	3693,14	3604,18	3,31	0,00*

LEGENDA: * $p < 0,05$

4.6. Povezanost između promjena debljine mišića i promjena jakosti

Značajna umjerena povezanost između promjena u debljini mišića i promjena u jakosti ($r = 0,49$; $p < 0,05$) utvrđena je isključivo za mišić *triceps brachii* u regiji T60 kod kontrolne skupine, dok u eksperimentalnoj skupini nije zabilježena povezanost ($r = 0$). Za ostale regije i mišićne skupine nije utvrđena statistički značajna korelacija između promjena u debljini mišića i promjena u jakosti. Primjer dijagrama raspršenosti koji prikazuje odnos između promjena u debljini mišića i promjena u jakosti za dvije mjerne točke prikazan je na slici 29.



Slika 29. Primjer dijagrama raspršenosti koji prikazuje povezanost između promjena u debljini mišića i promjena u mišićnoj jakosti: debljina na mjestu B60 i vršni moment sile pregibanja lakt u eksperimentalnom uvjetu (A), te debljina na mjestu T60 i vršni moment sile opružanja lakt u kontrolnom uvjetu (B).

5. RASPRAVA

Ovo istraživanje imalo je za cilj ispitati učinkovitost metode istezanja s otporom između serija na promjene u mišićnoj jakosti, hipertrofiji i arhitekturi mišića. Primarni cilj bio je utvrditi razlikuju li se učinci ISO metode od tradicionalnog treninga s pasivnim odmorom između serija, uz dodatnu analizu regionalnih promjena unutar mišića te povezanosti percipiranog intenziteta istezanja s trenažnim adaptacijama. Dobiveni nalazi pokazali su da primjena ISO metode nije dovela do statistički značajno različitih adaptacija u mišićnoj jakosti, hipertrofiji i arhitekturi u odnosu na tradicionalni protokol, osim kod mišića *pectoralis major*, gdje su zabilježene značajne interakcije između uvjeta i vremena u promjeni debljine mišića. Ovi rezultati sugeriraju da ISO metoda može biti specifično učinkovita za pojedine mišićne skupine koje su tijekom istezanja bile izložene većem mehaničkom stresu ili većem stupnju pasivnog naprezanja.

Sve ispitivane mišićne skupine pokazale su značajne promjene kroz vrijeme u većini analiziranih varijabli, neovisno o eksperimentalnom uvjetu, osim u duljini mišićnih vlakana, što potvrđuje da su oba trenažna protokola bila učinkovita u poticanju mišićne adaptacije. Analiza percipiranog intenziteta istezanja pokazala je različite odgovore među ispitivanim mišićnim skupinama, pri čemu je najviši intenzitet zabilježen kod mišića *pectoralis major*, dok su *biceps brachii* i *triceps surae* pokazali slične vrijednosti, a *triceps brachii* najniže.

Ukupni volumen opterećenja, definiran kao umnožak broja serija, ponavljanja i opterećenja (bez uključivanja trajanja istezanja), pokazao je značajne razlike između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta u većini mišićnih skupina, osim kod *triceps brachii*, kod kojeg je volumen opterećenja ostao podjednak. Uočena razlika u volumenu, u kombinaciji s percipiranim intenzitetom istezanja, mogla bi djelomično objasniti heterogenost adaptacijskih odgovora među pojedinim mišićima. Sveukupno, rezultati sugeriraju da učinkovitost metode istezanja s otporom između serija ovisi o specifičnim morfološkim i funkcionalnim obilježjima pojedinog mišića te bi se njegova primjena trebala individualno prilagođavati tim svojstvima.

Učinak metode istezanja s otporom između serija na mišićnu jakost

U ovom istraživanju i eksperimentalni i kontrolni uvjet zabilježili su značajno povećanje mišićne jakosti u svim mjeranim varijablama tijekom intervencije (4,13–17,82%), no između njih nije utvrđena statistički značajna razlika. Takvi nalazi u skladu su s prijašnjim istraživanjima koja su primjenjivala

metodu istezanja s otporom i također nisu zabilježila dodatni učinak te metode na povećanje jakosti (Silva i sur., 2014; Van Every i sur., 2022; Wadhi i sur., 2021). Međutim, dok su pojedina istraživanja pokazala blagu prednost u korist istezanja s otporom između serija, osobito kod plantarfleksora (Silva i sur., 2014; Van Every i sur., 2022), u našem istraživanju takav trend nije potvrđen. Metodološke razlike među studijama, uključujući način procjene jakosti i karakteristike ispitanika, vjerojatno su pridonijele razlikama u nalazima, no čini se da metoda istezanja s otporom između serija u primijenjenom obliku ne rezultira dodatnim povećanjem jakosti.

Rezultati istraživanja koja su proučavala utjecaj pasivnog istezanja bez opterećenja na mišićnu jakost također su neujednačeni. Souza i sur. (2013) nisu pronašli razlike u jakosti između skupina koje su tijekom serija provodile pasivno istezanje do blage nelagode, dok su Nakamura i sur. (2021) zabilježili povećanje izometrijske jakosti kada je istezanje između serija izvođeno s maksimalnim intenzitetom koji je ispitanik mogao tolerirati. Nadalje, recentna istraživanja koja su primjenjivala visokointenzivno pasivno istezanje bez treninga s opterećenjem pokazala su slične promjene u jakosti kao i programi treninga s otporom, u rasponu od približno 10 do 18% (Warneke i sur., 2022; Warneke i sur., 2023a, 2023c, 2023d; Wohlan i sur., 2024). Ti nalazi upućuju na to da su volumen i intenzitet ključne varijable koje određuju učinkovitost istezanja za razvoj jakosti. Teoretski, veći volumen i intenzitet istezanja s otporom između serija mogli bi dodatno potaknuti adaptacije jakosti, no u ovom istraživanju takav učinak nije potvrđen. Radi pouzdanijeg utvrđivanja učinka ove metode na razvoj mišićne jakosti, nužno je provesti buduća istraživanja koja će primijeniti preciznije metode mjerenja jakosti u svim mišićnim skupinama.

Učinak metode istezanja s otporom između serija na hipertrofiju

Na mišićima *biceps brachii*, *triceps brachii* i *triceps surae* nisu utvrđene statistički značajne interakcije između uvjeta i vremena, kao ni između uvjeta i mjesta mjerenja debljine mišića. Ipak, vrijednosti veličine učinka za *biceps brachii* bile su veće u eksperimentalnom uvjetu nego u kontrolnom za sve tri točke mjerenja (0,72, 0,85 i 0,90 naspram 0,58, 0,62 i 0,74 na 80%, 70% i 60% dužine mišića), dok je za mišić *pectoralis major* utvrđena značajna interakcija između uvjeta i vremena.

Moguće je da su uočene razlike povezane s biomehaničkim i neuromišićnim svojstvima pojedinih mišića. U ovom istraživanju, kod mišićnih skupina u kojima nije zabilježena značajna razlika između eksperimentalnog i kontrolnog uvjeta, percipirani intenzitet istezanja bio je najveći u mišiću *biceps brachii*, što bi moglo djelomično objasniti izraženiji hipertrofijski odgovor utvrđen analizom veličine učinka. Zanimljivo je da je u kontrolnom uvjetu veličina učinka bila veća na jednom mjestu mjerenja (T70: 0,14 u odnosu na 0,36), što predstavlja specifičan nalaz ovog istraživanja. Relativno nizak

intenzitet istezanja zabilježen u mišiću *triceps brachii* vjerojatno je imao ograničavajući utjecaj na hipertrofijski odgovor na tom mjestu mjerenja, dok je kod mišića *pectoralis major* zabilježen najviši intenzitet te je dobivena značajna interakcija uvjet x vrijeme. Kod mišića *triceps surae*, unatoč usporedivim vrijednostima percipiranog intenziteta kao kod *biceps brachii*, izostao dodatni hipertrofijski učinak. Ovi nalazi upućuju na to da je intenzitet istezanja važan čimbenik u učinkovitosti navedene metode, no ne i jedini. Adaptacijski odgovor tijekom ISO metode vjerojatno ovisi o međudjelovanju više faktora, uključujući arhitektonske, anatomske, fiziološke i biomehaničke specifičnosti pojedinih mišića.

Regionalna hipertrofija mišića biceps brachii

Prema našim saznanjima, trenutno ne postoji istraživanje koje je izravno ispitalo učinak metode istezanja s otporom između serija na hipertrofiju mišića *biceps brachii*. Jedino poznato istraživanje Evangeliste i sur. (2019) koje je analiziralo učinak pasivnog istezanja bez opterećenja pokazalo je da takav pristup ne dovodi do dodatnih mišićnih adaptacija u odnosu na tradicionalni protokol. Naši rezultati, iako metodološki različiti, potvrđuju sličan obrazac jer također nismo utvrdili dodatni učinak ISO metode na rast *biceps brachii*.

U usporedbi s prethodnim istraživanjima, u ovom su eksperimentu zabilježena nešto manja povećanja debljine mišića. Moguće objašnjenje leži u razlikama između uzoraka i trenažnih protokola. Primjerice, u istraživanju Kassiano i sur. (2025) netrenirane žene postigle su izraženije hipertrofijske adaptacije unatoč manjem tjednom volumenu treninga, što je u skladu s poznatim nalazima da netrenirane osobe u početnim fazama treninga pokazuju brže i veće mišićne adaptacije. Budući da su naši ispitanici imali prethodno iskustvo u treningu s otporom, moguće je da je razina treniranosti bila ključni čimbenik koji je ograničio veličinu opaženih promjena. Iako bi se moglo pretpostaviti da bi razlike između muškaraca i žena mogle djelomično objasniti razlike među studijama, postojeća literatura pokazuje da oba spola povećavaju mišićnu masu sličnom relativnom brzinom tijekom treninga s otporom (Abe i sur., 2000; Roberts i sur., 2020). Stoga se čini vjerojatnijim da su razlike u razini treniranosti, a ne spolne razlike, imale veći utjecaj na veličinu promjena zabilježenih u ovom istraživanju.

U usporedbi s ovim istraživanjem u istraživanju Coste i sur. (2021), ispitanici su prije studije imali razdoblje detreninga, što je moglo utjecati na intenzitet adaptacijskog odgovora. Dok su u spomenutom istraživanju sudjelovali mladi muškarci s najmanje šest mjeseci prethodnog iskustva u treningu s otporom, ali bez treninga tijekom četiri mjeseca prije početka studije, naši su ispitanici imali slično iskustvo, ali nisu bili nužno neaktivni prije početka studije. Unatoč toj sličnosti, u istraživanju Coste i suradnika (2021) zabilježen je veći porast debljine mišića, što se može povezati s mogućim djelovanjem

tzv. retrening efekta, prema kojem pojedinci nakon razdoblja neaktivnosti ponovno ostvaruju brže adaptacije na poznati trenažni podražaj (Lee i sur., 2016; Lee i sur., 2018; Ogasawara i sur., 2013). Ipak, znanstveni dokazi o retrening efektu kod ljudi su ograničeni. Dok se čini da se mišićna jakost može dijelom zadržati i brže obnoviti nakon pauze, trenutačno nema dokaza koji bi potvrdili da se isti mehanizam odnosi i na rast mišićne mase (Psilander i sur., 2019).

Razlike između ovog i prethodnih istraživanja moguće je dodatno objasniti i varijacijama u strukturi trenažnih protokola. Iako je prosječan broj serija tjedno bio sličan (devet serija), u studiji Coste i suradnika (2021) korištene su tri različite vježbe za *biceps brachii*, što je vjerojatno osiguralo veći raspon mehaničkih podražaja i time potaknulo izraženije adaptacije. Suprotno tomu, u ovom istraživanju korištena je jedna vježba, što bi moglo djelomično objasniti skromnije promjene u debljini mišića. Zanimljivo je da je i kontrolna skupina u istraživanju Coste i sur. (2021), koja je izvodila samo vježbu pregib podlaktica pothvatom, ostvarila veći porast mišićne mase nego naši ispitanici. Takav nalaz upućuje na mogućnost da su razlike u izboru vježbi, i prethodnoj treniranosti ispitanika zajednički doprinijele razlikama u hipertrofijskim odgovorima među studijama.

Regionalna hipertrofija mišića triceps brachii

Nije utvrđena statistički značajna razlika između eksperimentalne i kontrolne skupine u promjeni debljine mišića *triceps brachii*. Prema dostupnim spoznajama, dosad nije objavljeno istraživanje koje bi izravno ispitivalo učinak zadržavanja istegnute pozicije neposredno nakon serije s opterećenjem na hipertrofiju i jakost ovoga mišića. Kada se rezultati ovog istraživanja usporede s nalazima prethodnih radova u kojima je primjenjivana vježba opružanja podlaktica iza glave na trenažeru sa sajlama, zabilježeni porast debljine mišića u našem slučaju bio je nešto manji.

Evangelista i sur. (2019) analizirali su učinak pasivnog istezanja u trajanju od 30 sekundi nakon svake serije tijekom intervala odmora te nisu utvrdili značajnu razliku između uvjeta (7,1% u kontrolnoj i 12,3% u eksperimentalnoj skupini). S druge strane, Maeo i sur. (2019) su tijekom osmotjednog trenažnog programa, koji je uključivao deset serija tjedno iste vježbe na netreniranim mladim ispitanicima, zabilježili povećanje volumena duge glave *triceps brachii* od 28,5%, procijenjeno magnetskom rezonancijom (MRI). Budući da se volumen mišića ne može izravno uspoređivati s njegovom debljinom (Liegnell i sur., 2021; Kanehisa i sur., 2004), interpretacija tih nalaza u odnosu na rezultate ovog istraživanja zahtijeva određeni metodološki oprez.

U ovom istraživanju zabilježene su manje promjene u debljini mišića *triceps brachii* u usporedbi s nalazima Stasinaki i sur. (2017), koji su primjenjivali vježbu opružanja podlaktica iza glave u

šestotjednom programu s netreniranim ženama te izvijestili o povećanju debljine od 13,7% i 19,4%. Takve razlike u rezultatima vjerojatno proizlaze iz specifičnih obilježja uzorka ispitanika, što je ranije naglašeno i u raspravi o rezultatima mišića *biceps brachii*, ali i iz mogućih metodoloških razlika u procjeni debljine mišića.

Regionalna hipertrofija plantarnih fleksora

U našem istraživanju intenzitet istezanja plantarnih fleksora bio je usporediv s onim primijenjenim za mišić *biceps brachii*, no rezultati nisu pokazali prednost eksperimentalnog protokola u smislu veličine učinka. Izostanak izraženijeg hipertrofijskog odgovora donekle je neočekivan, budući da su prethodna istraživanja sugerirala potencijalnu korist primjene metode istezanja s otporom između serija upravo kod ove mišićne skupine (Silva i sur., 2014; Van Every i sur., 2022).

U usporedbi s dostupnim radovima, u ovom su istraživanju zabilježena povećanja debljine *lateralnog gastrocnemiusa* od 9,0 % i 9,7 %, *medijalnog gastrocnemiusa* od 5,7 % i 6,2 %, te *soleusa* od 5,4 % i 6,6 % za eksperimentalni i kontrolni uvjet. Ti su nalazi u skladu s rezultatima studije Van Every i sur. (2022), iako su promjene u ovom istraživanju bile nešto manjeg opsega, osobito za *gastrocnemius lateralis*. U istraživanju Van Every i sur. (2022) proveden je osmotjedni program koji je uključivao kombinaciju sjedećih i stojećih podizanja na prste (odnosno pogrčenim i ispruženim koljenom), s ukupno 16 serija tjedno. Autori su izvijestili o povećanjima debljine *lateralnog gastrocnemiusa* (16,9 % i 18,1 %), *medijalnog gastrocnemiusa* (5,5 % i 5,9 %) te *soleusa* (6,5 % i 3,4 %) u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini. Iako razlike između skupina nisu bile statistički značajne, interval pouzdanosti od 90% za *soleus* ukazivao je na mogući dodatni učinak istezanja s otporom između serija (0-1,6 mm). Autori su pretpostavili da su razlike među mišićima rezultat duljeg ukupnog trajanja napetosti u mišiću *soleus*, koji je vjerojatno bio više izložen istezanju tijekom sjedećih izvedbi, dok su *medijalni* i *lateralni gastrocnemius* zbog aktivne insuficijencije imali ograničen doprinos u tom položaju.

Silva i sur. (2014) izvijestili su o izrazito velikim povećanjima debljine *gastrocnemiusa* kod netreniranih ispitanika nakon petotjednog programa vježbe opružanja stopala na trenažeru za nožni potisak. Njihov je eksperimentalni protokol uključivao osam serija tjedno, uz 30-sekundno istezanje pod opterećenjem nakon svake serije, dok je kontrolna skupina zadržavala stopala u neutralnoj poziciji. Povećanja debljine *gastrocnemiusa* bila su iznimno velika ($23 \pm 5,0$ % u eksperimentalnoj skupini u odnosu na $9 \pm 4,8$ % u kontrolnoj), no važno je napomenuti da je riječ o radu objavljenom isključivo u obliku sažetka konferencijskog izlaganja, bez dostupnih detalja o korištenoj metodologiji. Odsutnost cjelovitog prikaza postupaka mjerenja i kontrole varijabli otežava interpretaciju nalaza i dovodi u

pitanje njihovu pouzdanost, osobito s obzirom na to da su prijavljene vrijednosti višestruko veće od tipičnih hipertrofijskih adaptacija zabilježenih u literaturi.

Ovo je istraživanje pokazalo umjerenija povećanja debljine u odnosu na ranije spomenute radove, što se može djelomično pripisati manjem ukupnom volumenu treninga (9 serija tjedno u usporedbi sa 16 u studiji Van Every i sur.) te mogućim razlikama u razini treniranosti ispitanika. U ovom su radu razine tjelesne aktivnosti procijenjene pomoću Tegnerove skale, pri čemu je prosječna vrijednost iznosila 7, što odgovara natjecateljskim sportovima i visokoj razini rekreativnog treninga. Budući da se u literaturi populacija „rekreativno aktivnih“ sudionika najčešće nalazi u rasponu od 4 do 6 na Tegnerovoj ljestvici (Briggs i sur., 2009; Farraye i sur., 2023), moguće je da su naši ispitanici bili treniraniji, a time i s većim pragom podražaja, odnosno s manjim potencijalom za dodatne adaptacije. Nadalje, naš je protokol uključivao samo jednu vježbu, stojeće podizanje na prste na Hackovu trenažeru, dok je u studiji Van Every i sur. (2022) korištena kombinacija stojećih i sjedećih izvedbi, što je moglo rezultirati većim ukupnim mehaničkim podražajem.

Razlike se mogu pripisati i metodološkim pristupima mjerenju debljine mišića. Dok je u ovom istraživanju mjerenje provedeno na 50 % dužine potkoljenice, Van Every i sur. (2022) mjerili su *soleus* na 30 %. Budući da ne postoji univerzalno prihvaćen protokol za procjenu debljine mišića *triceps surae*, različiti mjerni položaji mogu rezultirati varijabilnim vrijednostima. Našim je ispitanicima izmjerena debljina na anatomske precizno definiranim mjestima određenima projekcijama tetiva mišića *semimembranosus* i *biceps femoris*, čime se nastojala povećati pouzdanost procjene. Taj je pristup odabran nakon pilot testiranja koje je pokazalo veću konzistentnost u odnosu na čestu praksu procjene „najdebljeg mjesta mišića“ (Geremia i sur., 2019; Kawakami i sur., 1998).

S obzirom na sve navedeno, naši rezultati sugeriraju da metoda istezanja s otporom između serija kod plantarnih fleksora ne dovodi do značajnog dodatnog učinka na hipertrofiju u uvjetima umjerenog volumena treninga i kod ispitanika s visokom razinom rekreativnog vježbanja. Ipak, moguće je da pojedini dijelovi mišića različito reagiraju na ovakav tip stimulusa, što bi se moglo preciznije utvrditi primjenom naprednijih slikovnih metoda, poput magnetske rezonancije. Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se razjasnilo postoji li regionalno specifičan učinak ISO metode na mišiće skupine *triceps surae*.

Regionalna hipertrofija mišića pectoralis major

U ovom istraživanju utvrđena je značajna interakcija između uvjeta i vremena za mišić *pectoralis major*, što predstavlja važan nalaz jer se razlikuje od rezultata dobivenih za ostale analizirane mišićne skupine te može imati praktične implikacije za primjenu metode istezanja između serija. Iako razlike između

uvjeta nisu bile statistički značajne, veličine učinka upućuju na prednost eksperimentalnog protokola, pri čemu je povećanje debljine mišića u dvjema regijama bilo približno 40 % veće u odnosu na kontrolni uvjet. Osim toga, zabilježen je specifičan obrazac regionalne hipertrofije: mjesta P60 i P50 pokazala su značajno veća povećanja u odnosu na P40 u eksperimentalnom uvjetu, dok kod kontrolnog uvjeta takve razlike nisu bile prisutne.

Ovi rezultati ukazuju na mogućnost da ISO metoda potiče regionalno specifičnu hipertrofiju mišića *pectoralis major*. Takav učinak može proizlaziti iz dvaju mehanizama. Prvi je povezan s hipotezom o selektivnoj regrutaciji mišićnih vlakana u pojedinim regijama uslijed povećanog mehaničkog istezanja, što podupiru novija istraživanja koja su utvrdila regionalne razlike u hipertrofiji pri promjeni tempa izvedbe i tipa kontrakcije unutar iste vježbe (Benford i sur., 2021; Franchi i sur., 2014; Walker i sur., 2020). Stoga je moguće da i metoda istezanja s otporom između serija proizvodi regionalno specifične adaptacije u usporedbi s izvedbom iste vježbe s pasivnom pauzom. Drugi se mehanizam odnosi na povećano ukupno vrijeme pod napetošću (VPN), koje je u eksperimentalnom uvjetu bilo znatno dulje. Budući da dulje trajanje napetosti pozitivno utječe na hipertrofijske adaptacije (Krieger, 2010; Martins-Costa i sur., 2022; Tran i Docherty, 2006), moguće je da je upravo veći VPN doveo do diferencijalnih promjena unutar mišića *pectoralis major*. Drugim riječima, moguće je da veći podražaj izazvan povećanim VPN uzrokuje veća povećanja u navedenim regijama.

Usporedimo li rezultate ovog istraživanja s nalazima Wadhija i sur. (2021), koji su jedini do sada ispitali učinak ISO metode na mišić *pectoralis major*, uočavaju se različiti obrasci adaptacije. Dok je u ovom istraživanju zabilježen izraženiji porast debljine mišića u eksperimentalnom uvjetu, njihovi rezultati nisu pokazali značajne razlike između skupina. Takve razlike moguće je pripisati nekoliko važnih metodoloških čimbenika. U istraživanju Wadhija i sur. (2021) istezanje se izvodilo s tek 15 % opterećenja radne serije, korištenjem trenažera sa sajlama, što je omogućilo održavanje položaja tijekom 30 sekundi bez narušavanja forme izvođenja. Nasuprot tome, u ovom istraživanju primijenjen je *butterfly* trenažer, a opterećenje je bilo znatno veće (70–100 % opterećenja radne serije), zbog čega su ispitanici imali poteškoća s održavanjem istezanja tijekom cijelog vremenskog intervala, pa je kod pojedinih sudionika bilo potrebno smanjiti opterećenje. Ispitanici su pritom izvještavali o izrazitoj boli i nelagodi, što je potvrđeno visokim prosječnim percipiranim intenzitetom istezanja (9,11/10), što upućuje na to da je pasivna sila koja djeluje na mišićna vlakna bila znatno veća nego u istraživanju Wadhija i sur. (2021). Osim toga, razlike u izboru vježbi za istezanje utjecale su na smjer i veličinu sile koja djeluje na mišić, a time i na sarkomere, što može imati značajan učinak na regionalni hipertrofijski odgovor. Budući da intenzitet istezanja u istraživanju Wadhija i suradnika nije bio kvantificiran, izravna usporedba između dvaju protokola ostaje ograničena. Ipak, čini se da je upravo veći intenzitet istezanja u ovom istraživanju, koji proizlazi ne samo iz većeg opterećenja nego i iz specifičnog izbora vježbe, te

posljedično snažniji mehanički podražaj na ciljani mišić, glavni čimbenik koji može objasniti većinu razlika između ovih istraživanja.

Druga važna razlika odnosi se na treniranost ispitanika. Sudionici u ovom istraživanju bili su znatno manje trenirani u odnosu na one u istraživanju Wadhija i suradnika, gdje su ispitanici imali najmanje tri godine iskustva u treningu s otporom te su ostvarivali opterećenje na potisku s ravne klupe od najmanje 1,2 puta tjelesne mase, što ograničava njihov daljnji hipertrofijski potencijal. Kontrolna skupina u ovom istraživanju pokazala je nešto manji numerički napredak u usporedbi sa skupinama u istraživanju Wadhija i sur. (2021), što se može objasniti gotovo dvostruko manjim ukupnim volumenom opterećenja u našem protokolu, unatoč razlikama u treniranosti sudionika.

Zanimljivo je da je eksperimentalna skupina u ovom istraživanju ostvarila veće povećanje debljine mišića u odnosu na rezultate Wadhija i sur. (2021). Ovaj nalaz upućuje na mogućnost da dodatno istezanje s opterećenjem između serija može djelovati kao snažan hipertrofijski podražaj, potencijalno usporediv s učincima povećanja ukupnog volumena treninga. Ipak, ostaje nejasno je li povećanje volumena pod napetošću (VPN) izazvano istezanjem s opterećenjem u ovoj vježbi ekvivalentno povećanju VPN-a dobivenom, primjerice, izometričkim izdržajem u drugom dijelu opsega pokreta ili pak većim volumenom opterećenja koji bi proizveo sličan dodatni učinak. Stoga su potrebna daljnja istraživanja koja bi omogućila preciznije razumijevanje mehanizama i usporednih učinaka različitih strategija povećanja vremena pod napetošću.

Povezanost jakosti i hipertrofije

U ovom istraživanju za većinu analiziranih mišića i regija nije utvrđena značajna povezanost između promjena u debljini mišića i promjena u jakosti, što iako naizgled neočekivano, nije neuobičajeno. Dobivene korelacije kretale su se od -0,20 do 0,49, što sugerira da su promjene u hipertrofiji u velikoj mjeri bile neovisne o promjenama u jakosti. Značajna umjerena povezanost ($r = 0,49$) zabilježena je jedino kod mišića *triceps brachii*, i to u regiji T60 kontrolne skupine, dok u eksperimentalnom uvjetu nije bilo povezanosti ($r = 0$). Također, uočen je trend nešto viših korelacija u kontrolnom u odnosu na eksperimentalni uvjet, iako uzroci takvog obrasca nisu sasvim jasni.

Prethodna istraživanja upućuju na veliku varijabilnost u odnosu između promjena jakosti i hipertrofije, s vrijednostima korelacija koje se najčešće kreću između 0 i 0,6 (Ahtiainen i sur., 2016; Erskine i sur., 2010; Vigotsky i sur., 2018). Neki autori ističu kako klasični pristup korelacijskoj analizi nije dovoljan

za razumijevanje tog odnosa te zagovaraju primjenu hijerarhijskih modela s više vremenskih točaka koji bi bolje obuhvatili međuispitaničku heterogenost (Vigotsky i sur., 2018). Dok presječna istraživanja potvrđuju jasan pozitivan odnos između veličine mišića i jakosti (Balshaw i sur., 2021; Maughan i sur., 1984), longitudinalne intervencije kraćeg trajanja često ne bilježe takvu povezanost zbog utjecaja brojnih drugih faktora.

Naime, promjene u neuralnim komponentama, poput unutar- i među-mišićne koordinacije, sinkronizacije aktivacije, frekvencije pražnjenja motoričkih jedinica te koaktivacije antagonista, mogu znatno doprinijeti povećanju jakosti neovisno o hipertrofiji (Reggiani i Schiaffino, 2020). Uz to, strukturalne promjene, poput odnosa kontraktilnih proteina i sarkoplazmatskog sadržaja, promjena u tipologiji vlakana ili duljine kraka poluge, također mogu mijenjati sposobnost mišića da generira silu (Reggiani i Schiaffino, 2020). Stoga, odsutnost značajne povezanosti između promjena hipertrofije i jakosti u našem istraživanju može se objasniti navedenim mehanizmima. Trenutačno nije poznato u kojoj mjeri metoda istezanja s otporom između serija može modulirati te faktore, pa su daljnja istraživanja nužna kako bi se razjasnio potencijalni utjecaj ove metode na neuralne i strukturne prilagodbe mišića.

Drugi zanimljiv nalaz koji se može uočiti iz dijagrama raspršenosti (slika 29), odnosno odnosa između promjena u jakosti i promjena u debljini mišića, odnosi se na izražene individualne razlike u tim promjenama. Iako je u prosjeku zabilježen značajan porast i jakosti i debljine mišića za sve analizirane varijable, na individualnoj razini taj se trend ne pojavljuje kod svih ispitanika na svim mišićnim skupinama. Uočeni su slučajevi u kojima se debljina mišića smanjila uz istodobno povećanje jakosti, kao i slučajevi suprotnog odnosa, smanjenja jakosti uz povećanje debljine mišića, te slučajevi u kojima su obje varijable pokazale smanjenje.

Postoji nekoliko mogućih objašnjenja za takve individualne varijacije. Prvo, moguće je da promjene u mišićnoj debljini nisu uniformne duž cijele regije mišića, već da se razlikuju između ispitanika. To znači da se kod pojedinih ispitanika može javiti povećanje debljine u jednoj regiji, dok druga ostaje nepromijenjena ili se čak smanjuje. Osim toga, individualne razlike u izvedbi vježbi koje su povezane i s anatomskim razlikama mogu uzrokovati različite obrasce aktivacije mišića pri izvođenju iste vježbe, što može rezultirati nejednolikim hipertrofičnim odgovorom između ispitanika (Boyer i sur., 2021; Wakahara i sur., 2012; 2013; 2017). Drugim riječima, moguće je da su različite regije bile različito aktivne za pojedine ispitanike te je time i hipertrofijski odgovor bio drugačiji, posebice za mišić *triceps brachii* koji se sastoji od tri glave koje imaju specijaliziranu funkciju, te kod kojeg su zabilježene najmanje promjene u ovom istraživanju.

Drugo, moguće je da je ukupni trenažni podražaj tijekom istraživanja za mjerene regije bio manji u odnosu na prethodne razine podražaja, što bi moglo objasniti smanjenje jakosti ili debljine kod

pojedinih ispitanika. Primjerice, ako je ispitanik prije istraživanja redovito izvodio različite vježbe za mišić *triceps brachii*, moguće je da su regije koje su ranije bile stimulirane u većoj mjeri bile podložne atrofiji ili ostale nepromijenjene, dok su regije koje su bile dominantno uključene u vježbu opuštanja podlaktice iznad glave pokazale povećanje debljine.

Treće, ne može se isključiti mogućnost metodoloških pogrešaka pri mjerenju koje mogu rezultirati mjernim artefaktima, odnosno prividnim promjenama koje ne odražavaju stvarno fiziološko stanje. Uvidom u Bland-Altmanove dijagrame mogu se prepoznati potencijalne pogreške mjerenja te definirati gornje i donje granice pouzdanosti, što omogućuje interpretaciju individualnih rezultata s potrebnom dozom opreza.

Buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti na dublje razumijevanje uzroka individualnih razlika u adaptacijama mišićne debljine i jakosti, kako bi se omogućila preciznija izrada individualiziranih trenažnih programa usmjerenih na postizanje optimalnih rezultata za svakog pojedinca.

Učinak metode istezanja s otporom na arhitekturu mišića

U oba ispitivana uvjeta zabilježen je sličan porast kuta penacije, što upućuje na adaptacijsku strategiju mišića usmjerenu prema povećanju debljine i jakosti. Povećanje kuta penacije omogućuje smještaj većeg broja sarkomera u paraleli, čime se povećava presjek mišića i potencijal za generiranje sile (Martin-Rodriguez i sur., 2024; Lieber i sur., 2022). Takve promjene smatraju se tipičnim odgovorom na trening s otporom, pri čemu rast penacijskog kuta prati hipertrofiju mišića i povećanje mehaničke učinkovitosti kontrakcije.

U usporedbi s našim nalazima, Simpson i sur. (2017) nisu utvrdili promjene u kutu penacije *medijalnog gastrocnemiusa*, dok su zabilježili čak smanjenje kuta penacije *lateralnog gastrocnemiusa* nakon protokola statičkog istezanja, što sugerira da klasično pasivno istezanje ne potiče morfološke adaptacije karakteristične za trening s otporom. Slične zaključke iznosi i meta-analiza Panidi i sur. (2023), koja navodi da se promjene u kutu penacije u pravilu ne očekuju nakon protokola istezanja. U tom kontekstu, rezultati našeg istraživanja upućuju da zabilježene promjene kuta penacije najvjerojatnije proizlaze iz učinaka treninga s otporom, dok dodatno istezanje između serija s otporom nije imalo poseban utjecaj na ovu varijablu.

Ovakvi nalazi u skladu su s ranijim radovima koji su pokazali da trening s otporom, neovisno o primjeni dodatnih metoda, dovodi do povećanja kuta penacije (Aagaard i sur., 2001; Kawakami, 2005; Folland i sur., 2007). Stoga se može zaključiti da metoda istezanja između serija s otporom u ovom obliku ne

pruža dodatni učinak na promjenu kuta penacije u odnosu na standardne protokole treninga. Budući da je ovo, prema dostupnim spoznajama, prvo istraživanje koje je ispitalo učinak ISO-a na kut penacije, buduća istraživanja trebala bi provjeriti ove nalaze na različitim mišićnim skupinama i s različitim intenzitetima opterećenja, čime bi se omogućilo dublje razumijevanje strukturnih adaptacija izazvanih ovom metodom.

Duljina mišićnih vlakana u našem istraživanju nije se značajno promijenila, iako su zabilježeni numerički pomaci u korist eksperimentalnog uvjeta (4,31% prema 2,06%), što može sugerirati potencijalni, ali nedovoljno izražen učinak istezanja s otporom. S obzirom na veličinu učinka (0,06 i 0,03) te moguće pogreške mjerenja, ti se rezultati ipak trebaju tumačiti s oprezom. Prema dosadašnjim spoznajama, povećanje duljine snopova mišićnih vlakana češće je zabilježeno u istraživanjima koja su primjenjivala ekscentrične oblike treninga, pri čemu se adaptacija očituje u serijskom dodavanju sarkomera, što omogućuje generiranje veće sile pri većim dužinama mišića i smanjuje rizik od oštećenja sarkomera pri ponovljenim kontrakcijama (Alegre i sur., 2006; Douglas i sur., 2017; Walker i sur., 2021).

Nasuprot tomu, istraživanja koja su koristila protokole istezanja, poput onih uključenih u meta-analizu Panidi i sur. (2023), uglavnom izvještavaju o minimalnim ili odsutnim promjenama duljine vlakana. Stoga je izostanak značajnih promjena u našem istraživanju u skladu s većinom dosadašnjih nalaza. Moguće je, međutim, da bi duže trajanje intervencije ili primjena veće mehaničke napetosti tijekom istezanja proizveli izraženije adaptacije u duljini snopova vlakana.

Kako bi se preciznije procijenili učinci metode istezanja s otporom između serija na arhitektonske prilagodbe mišića, buduća istraživanja trebala bi koristiti napredne slikovne metode, poput ultrazvuka s proširenim vidnim poljem (eng. *Extended Field of View Ultrasound*), koje omogućuju točnije praćenje promjena duž cijelog mišića. Takav pristup omogućio bi detaljniju kvantifikaciju promjena i dublje razumijevanje mehanizama kojima različiti oblici istezanja mogu utjecati na strukturalne i funkcionalne adaptacije skeletnih mišića.

Utjecaj metode istezanja s otporom između serija na volumen opterećenja i mehaničku napetost

Jedan od zanimljivijih nalaza ovog istraživanja odnosi se na značajno manji prosječni ukupni volumen opterećenja za mišiće *triceps surae*, *biceps brachii* i *pectoralis major* u eksperimentalnom uvjetu u usporedbi s kontrolnim. Tijekom eksperimenta posebna je pažnja posvećena izjednačavanju volumena između uvjeta, uključujući jednak broj ponavljanja u prvoj seriji, kako bi se osigurala metodološka dosljednost. Unatoč tome, čini se da je visoki intenzitet istezanja između serija doveo do smanjenja

volumena u kasnijim serijama, vjerojatno zbog nedovoljnog oporavka mišića unutar zadanih intervala odmora. Iako su razlike u volumenu opterećenja bile statistički značajne, njihov praktični značaj treba tumačiti s određenom rezervom. Promatrajući apsolutnu razliku u broju ponavljanja po treningu, uočava se pad od približno jednog ponavljanja kod *tricepsa surae*, dva kod *bicepsa brachii* te tri do četiri kod *pectoralis major*. Statistička značajnost ukazuje na dosljednost i pouzdanost ovih razlika, no one ne moraju nužno odražavati veći klinički ili praktični učinak, osobito u kontekstu ukupnog volumena treninga. Konkretno, smanjenje broja ponavljanja za 1, 2 ili 3-4 po treningu ne znači nužno proporcionalno smanjenje učinkovitosti u praktičnoj primjeni. Ako se pretpostavi da je smanjenje volumena posljedica većeg mišićnog napora, a veći napor modulira veći percipirani intenzitet istezanja, može se zaključiti da je upravo intenzitet istezanja na razini pojedinačnih mišićnih vlakana ključni čimbenik koji doprinosi učinkovitosti ove metode.

Ovakvo tumačenje podupiru i rezultati ranijih istraživanja koja naglašavaju ulogu intenziteta istezanja kao ključnog čimbenika u pokretanju strukturnih adaptacija (Nunes i sur., 2020; Warneke i sur., 2023). Primjerice, Wohllann i sur. (2024) usporedili su visokointenzivni protokol istezanja s konvencionalnim treningom s otporom, koristeći automatiziranu traku za preciznu kontrolu i modulaciju napetosti tijekom istezanja mišića *pectoralis major*. Njihov osmotjedni protokol, koji je uključivao četiri treninga tjedno s po 15 minuta istezanja, rezultirao je hipertrofijskim učincima usporedivima s onima izazvanima tradicionalnim treningom s otporom, čime je dodatno potvrđena važnost intenziteta stimulusa u procesu adaptacije.

Unatoč nižem ukupnom volumenu opterećenja (dobivenom umnoškom broja serija, broja ponavljanja i opterećenja) u eksperimentalnom uvjetu, ukupno vrijeme pod napetošću (VPN), uključujući i trajanje istezanja nakon svake serije, bilo je znatno veće. Procjene pokazuju da je VPN u eksperimentalnom uvjetu bio približno 1610 sekundi (oko 27 minuta) veći nego u kontrolnom, što je gotovo dvostruko više ukupno trajanje napetosti. Ovaj proračun temelji se na pretpostavci da je trajanje jednog ponavljanja iznosilo približno tri sekunde, dok su ispitanici u eksperimentalnom uvjetu prosječno izvodili 3-4 ponavljanja manje po treningu (npr. u vježbi privlačenja na trenažeru). Ukupni gubitak VPN-a zbog manjeg broja ponavljanja iznosio je oko 210 sekundi (~3,5 minute) tijekom 21 treninga, dok je trajanje istezanja iznosilo približno 1820 sekundi (~30 minuta), što potvrđuje da je ukupni VPN u eksperimentalnom uvjetu bio gotovo dvostruko veći. S obzirom na to da dosadašnja istraživanja upućuju na VPN kao jedan od ključnih čimbenika koji potiču mišićnu hipertrofiju pri dostatno velikom opterećenju (Behringer i sur., 2025; Lacio i sur., 2021; Martins-Costa i sur., 2022; Tran i Docherty, 2006), ovaj nalaz nudi uvjerljivo objašnjenje za dobivene rezultate.

Na temelju toga može se zaključiti da hipertrofijski učinci zabilježeni u ovom istraživanju vjerojatno nisu isključivo posljedica same metode istezanja s otporom, nego povećanog ukupnog VPN-a koji je ta

metoda omogućila. Drugim riječima, istezanje bi moglo djelovati kao sredstvo za produljenje trajanja mehaničke napetosti, čime se pojačava ukupni stimulacijski učinak treninga. Međutim, činjenica da povećani VPN kod ostalih analiziranih mišićnih skupina nije rezultirao usporedivim hipertrofijskim odgovorom upućuje na to da sam VPN nije dovoljan bez adekvatne razine intenziteta. Dakle, učinkovitost metode ISO vjerojatno ovisi o kombinaciji visokog intenziteta istezanja i produljenog vremena napetosti, na što upućuju i istraživanja provedena bez dodatnog opterećenja (Nunes i sur., 2020; Warneke i sur., 2024).

Prema tome, čini se da učinkovitost ISO metode proizlazi ponajprije iz visokog intenziteta istezanja. Drugim riječima, metoda je učinkovita samo ako istezanje stvara dovoljno veliku mehaničku napetost, što je u ovom istraživanju bilo popraćeno izraženim osjećajem nelagode za mišić *pectoralis major*. Kada je istezanje nižeg intenziteta, što fiziološki vjerojatno upućuje na slabiju mehaničku stimulaciju mišića, njegova se učinkovitost u poticanju mišićnog rasta značajno smanjuje.

Biomehanička ograničenja i mišićna specifičnost odgovora na metodu istezanja s otporom između serija

U ovom istraživanju nisu postignuta maksimalna opterećenja tijekom istezanja na svim istegnutim mišićima, što proizlazi iz činjenice da mogućnost toleriranja istezanja ovisi o specifičnim anatomskim karakteristikama pojedinih mišića i zglobnih sustava preko kojih prelaze. Kod mišića *pectoralis major* postignuto je, u određenim slučajevima, maksimalno pa čak i supramaksimalno opterećenje u odnosu na ono što su ispitanici mogli podnijeti u zadanom vremenskom periodu, što je bilo vidljivo iz potrebe za smanjenjem opterećenja pri početku istezanja. Nasuprot tome, održavanje istezanja s istim opterećenjem kod drugih vježbi bilo je lakše, a zahtjevnost zadržavanja pozicije odražavala se u percipiranom intenzitetu istezanja. Takve razlike vjerojatno proizlaze iz biomehaničkih te anatomsko-funkcionalnih specifičnosti svake pojedine vježbe.

Primjerice, kod vježbe opružanja podlaktica iza glave na trenažeru sa sajlama stojeći, poziciju istezanja ograničava građa lakatnog zgloba koji je kutni zglob i anatomski ograničen odnosom kostiju podlaktice i nadlaktice (Martin i Sanchez, 2013), zbog čega nije uvijek bilo jasno je li ispitanik dosegao krajnji opseg pokreta mišića ili je dodatno istezanje bilo moguće. Iako je u ovom istraživanju naglasak bio na postizanju maksimalne moguće pozicije istezanja, biomehanička svojstva zgloba mogla su spriječiti postizanje maksimalne elongacije mišića, što je vjerojatno utjecalo na slabiji hipertrofijski odgovor u odnosu na druge mišiće. Drugim riječima, iako su ispitanici zadržavali najdalju poziciju unutar svojeg opsega pokreta, ona možda nije bila dovoljna da izazove dovoljnu pasivnu napetost unutar mišićnih vlakana ili dostatno istezanje sarkomera da bi se potaknule adaptacije. Na razini sarkomere, vjerojatno

nije postignuta duljina na kojoj se generira visoka razina pasivne napetosti, budući da duga glava mišića *triceps brachii* primarno djeluje na uzlaznoj i plato regiji krivulje sila-duljina (Ottinger i sur., 2022), pri čemu značajna količina pasivne napetosti izostaje.

Slično je i kod vježbe pregiba podlaktica sjedeći na kosoj klupi, gdje lakatni zglobovi ograničavaju maksimalno istezanje sarkomera jer se u ispruženoj poziciji već nalazi u maksimalnom opsegu pokreta (Fornalski i sur., 2023). Zbog toga je količina pasivne napetosti tijekom istezanja na ovom mišiću vjerojatno bila mala. Uz to, budući da se u ovoj vježbi koristi bučica koja generira silu isključivo prema dolje pod djelovanjem gravitacije, upitno je koliki se udio te sile prenosi izravno na mišić, a koliki na okolne strukture i vezivna tkiva u području lakta. Također, budući da *biceps brachii* djeluje primarno na uzlaznoj i plato regiji krivulje sila-brzina (Ottinger i sur., 2022), moguće je da primjena iste metode ne dovodi do dovoljnog istezanja sarkomera za generiranje značajne pasivne napetosti potrebne za dodatni mišićni rast. Iz tih razloga može se zaključiti da primjena metode istezanja s otporom nije optimalna za mišiće pregibače i opružake lakta.

U našem istraživanju metoda istezanja s otporom između serija nije rezultirala značajnim promjenama u mišiću *triceps surae*, zbog čega se, u kontekstu načina provedbe primijenjenog u ovom radu, ne može preporučiti za tu mišićnu skupinu. Iako su neka ranija istraživanja (Silva i sur., 2014; Van Every i sur., 2022) pokazala potencijalno blage koristi ove metode na *triceps surae*, naši nalazi sugeriraju da takvi učinci nisu dosljedni. Važno je istaknuti da, prema Ottingeru i sur. (2022), razlike u rezultatima istraživanja koja su ispitivala hipertrofiju pri različitim opsezima pokreta mogu biti objašnjene krivuljom sila-duljina. Autori navode da mišići čija se primarna aktivnost odvija na silaznom dijelu krivulje imaju veću korist od treninga pri većim duljinama mišića, dok mišići čija aktivnost prevladava na uzlaznoj i plato regiji vjerojatno ne ostvaruju dodatne hipertrofijske koristi.

Ovakav koncept dobro se uklapa u nalaze istraživanja Van Everyja i sur. (2022), koji su jedini ispitivali učinak metode istezanja s otporom upravo na *triceps surae*. U njihovom radu zabilježen je potencijalno blagi pozitivan učinak istezanja na mišić *soleus*, dok je učinak na *gastrocnemius* izostao. Pretpostavljeno je da je vježba podizanje na prste sjedeći omogućila istezanje *soleusa* jer je u toj poziciji *gastrocnemius* aktivno insuficijentan, što je vjerojatno potaknulo veći hipertrofijski odgovor *soleusa*. S obzirom na to da *soleus* djeluje prvenstveno na silaznom kraku krivulje sila-duljina, moguće je da ova metoda kod njega stvara dovoljnu pasivnu napetost za izazivanje adaptacija. Nasuprot tome, *gastrocnemius* je dominantno aktivan na uzlaznoj i plato regiji, pa je vjerojatno da istezanje pod opterećenjem ne proizvodi dovoljno visoku pasivnu napetost u njegovim sarkomerama. Ipak, kako u našem istraživanju nije zabilježena razlika između metoda, a ni u navedenom istraživanju (Van Every i sur., 2022) učinci nisu dosegli statističku značajnost, čini se da ova metoda nije prikladna za mišić *triceps surae*.

Za razliku od toga, mišić *pectoralis major* pokazao je značajne adaptacije. Budući da djeluje na sva tri segmenta krivulje sila-duljina (Garner i Pandy, 2003) i anatomski ima manje ograničenja od ostalih analiziranih mišića (Lucas, 1973), može se pretpostaviti da tijekom istezanja u primijenjenoj poziciji djeluje duboko na silaznom kraku krivulje (Ottinger i sur., 2022), što omogućuje visoku razinu pasivne napetosti i dostatno istezanje sarkomera za dodatni hipertrofijski učinak. Ovi nalazi upućuju na važnost prilagodbe metode biomehaničkim svojstvima mišića i zglobova. Uzimanje u obzir građe i funkcije zglobova moglo bi omogućiti učinkovitije pozicioniranje tijekom istezanja i preciznije određivanje mišićnih skupina koje imaju najveći potencijal koristi od ove metode.

Moguće je i da razlike u rezultatima proizlaze iz različitog stupnja mišićne aktivacije tijekom istezanja pod opterećenjem. Nije posve jasno odvija li se istezanje isključivo pasivno ili uz određenu razinu aktivacije mišića, što bi značilo da ono zapravo prelazi u ekscentričnu ili izometričku mišićnu akciju u izduženoj poziciji. Ova bi se pretpostavka mogla provjeriti elektromiografijom (EMG), koja bi omogućila kvantifikaciju razine aktivacije te njezine povezanosti s percipiranim intenzitetom istezanja i mehaničkim opterećenjem. Prethodna istraživanja (Oranchuk i sur., 2019; Sato i sur., 2021) pokazuju da izometričke kontrakcije u izduženim položajima i vježbe s parcijalnim ponavljanjima pri većim dužinama mišića mogu izazvati veće hipertrofijske odgovore nego izvedba u skraćenim položajima (Kassiano i sur., 2023a; Kassiano i sur., 2023b; Pedrosa i sur., 2023). Ako tijekom istezanja zaista postoji određena razina aktivacije, ona bi mogla djelovati kao dodatni poticaj za hipertrofiju, dok bi njezin izostanak objasnio manji učinak. Isto tako, bilo bi korisno istražiti odražava li veći percipirani intenzitet istezanja stvarno veću razinu aktivacije mišića, ukoliko ona postoji.

Na temelju svega navedenog može se zaključiti da rezultati upućuju na postojanje praga intenziteta istezanja potrebnog za izazivanje hipertrofijskih adaptacija, koji bi prema nalazima ovog istraživanja mogao biti oko 7,5 na skali percipiranog intenziteta. Ova hipoteza podupire ideju o odnosu doze i odgovora između intenziteta istezanja i hipertrofijskog učinka. U našem istraživanju negativan učinak zabilježen je u mišiću *triceps brachii*, neutralan u *triceps surae*, blago pozitivan u *biceps brachii*, dok je najizraženiji hipertrofijski učinak pronađen u mišiću *pectoralis major*, koji je bio izložen najvećem percipiranom intenzitetu istezanja.

Praktične smjernice za primjenu metode istezanja s otporom između serija

Rezultati provedenog istraživanja upućuju na to da je mehanička napetost ključni podražaj koji pokreće hipertrofijske adaptacije unutar metode istezanja s otporom između serija. Ovi nalazi sugeriraju da, ako se istezanje koristi kao sredstvo za poticanje rasta mišićne mase, intenzitet istezanja mora biti dostatno visok kako bi se potaknula odgovarajuća razina anaboličke signalizacije unutar mišićnih vlakana.

Primjena takvog pristupa može znatno unaprijediti učinkovitost trenažnih programa usmjerenih na razvoj mišićne mase.

Dobiveni rezultati imaju značajne praktične implikacije za trenere i sportaše koji nastoje optimizirati hipertrofijske adaptacije primjenom metode istezanja s otporom između serija. Ključne spoznaje omogućuju precizniju primjenu metode u praksi, uzimajući u obzir intenzitet istezanja, izbor vježbi te specifična obilježja pojedinih mišićnih skupina.

Intenzitet istezanja pokazao se presudnim čimbenikom uspješnosti ove metode. Na temelju subjektivnih procjena prikupljenih u ovom istraživanju, optimalan intenzitet trebao bi biti percipiran kao najmanje 7,5 na skali od 1 do 10, što implicira da istezanje mora izazvati izraženu mišićnu nelagodu kako bi se ostvario odgovarajući mehanički poticaj za rast. U praktičnom smislu, treneri bi trebali usmjeriti vježbače prema pronalaženju pozicije u kojoj osjećaju značajnu, ali kontroliranu napetost ili nelagodu u ciljanom mišiću.

Odabir vježbi trebao bi se temeljiti na mogućnosti postizanja maksimalne elongacije mišićnih vlakana uz minimalna biomehanička ograničenja. Primjerice, za mišić *pectoralis major* optimalne su vježbe poput privlačenja na trenažeru ili razvlačenja bučica na klupi, koje omogućuju maksimalno istezanje uz stabilnu kontrolu pokreta. Kod plantarnih fleksora, izvođenje podizanja na prste u stojećem ili sjedećem položaju na trenažeru omogućuje jednostavno i sigurno postizanje istegnute pozicije pod kontroliranim opterećenjem, no njegova učinkovitost za dodatne adaptacije jakosti i hipertrofije još uvijek ostaje nejasna. Suprotno tome, vježbe poput pregiba lakta sjedeći na kosoj klupi zahtijevaju veću preciznost u pozicioniranju kako bi se osiguralo učinkovito istezanje mišića bez nepotrebnog opterećenja zglobova, stoga se ne preporučuju za primjenu navedene metode jer ne omogućuju maksimalnu elongaciju mišića.

Opterećenje tijekom istezanja trebalo bi biti prilagođeno tako da omogućuje zadržavanje pozicije istezanja u trajanju od približno 20 do 30 sekundi. U slučaju potrebe preporučuje se smanjenje radnog opterećenja na 70-80 % neposredno nakon završetka serije, čime se osigurava dovoljan intenzitet za poticanje adaptacija, ali i smanjuje rizik od ozljeda ili pretjeranog stresa na mišićno-koštani sustav.

Metoda istezanja s otporom između serija može se također primijeniti kao učinkovito sredstvo za uvođenje varijacija u trenažni proces i povećanje ukupnog vremena pod napetošću, što dodatno doprinosi hipertrofijskim adaptacijama. Takve varijacije ne samo da povećavaju fiziološki učinak treninga, nego mogu i pozitivno utjecati na psihološke aspekte trenažnog procesa, osobito na motivaciju i predanost vježbača. Održavanje visoke razine motivacije i povjerenja u proces ključno je za dugoročno ostvarivanje željenih adaptacija i stabilan napredak u razvoju mišićne mase.

Primjena navedenih smjernica omogućiti će trenerima i sportašima učinkovitiju implementaciju metode istezanja s otporom između serija, maksimiziranje hipertrofijskog odgovora te istodobno smanjenje rizika od neželjenih nuspojava i prekomjernog opterećenja mišića i zglobova.

Ograničenja studije

Iako ovo istraživanje predstavlja vrijedan doprinos razumijevanju učinaka metode istezanja s otporom između serija, prilikom interpretacije rezultata potrebno je uzeti u obzir određena metodološka ograničenja. Dizajn istraživanja nije uključivao kontrolu ukupnog vremena pod napetošću između uvjeta, što otežava precizno razlučivanje učinaka samog istezanja od mogućeg utjecaja povećanog VPN-a na hipertrofijske adaptacije. Stoga se nameće pitanje bi li usporedivi hipertrofijski odgovori mogli biti postignuti jednostavnim povećanjem volumena treninga, bez dodatnog istezanja. Međutim, s obzirom na ograničen broj dostupnih istraživanja o učinkovitosti ISO metode i neujednačene nalaze, odabrani pristup omogućio je primarnu procjenu same metode bez kontrole ukupnog trajanja pod napetošću, čime se isključivo ispituje učinak primjene istezanja između serija.

Još uvijek nije dovoljno razjašnjeno u kojoj mjeri metoda i njezina varijabilna primjena utječu na ukupan volumen i intenzitet treninga. Pritom nije poznato može li metoda, u uvjetima bez izjednačavanja volumena, imati pozitivan ili negativan učinak na hipertrofiju. Naime, određena istraživanja pasivnog istezanja pokazala su da takvi protokoli mogu smanjiti ukupni volumen treninga i time negativno utjecati na mišićni rast (Barroso i sur., 2012; Nelson i sur., 2005; Padilha i sur., 2019; De Camargo i sur., 2022). S druge strane, moguće je da ISO metoda produžuje ukupno trajanje mehaničke napetosti i time dodatno potiče hipertrofijske adaptacije. U tom kontekstu, odluka da se u ovom istraživanju ne izjednačavaju ni volumen ni VPN bila je opravdana, jer je primarni cilj bio izolirano ispitati potencijalni učinak metode. Buduća istraživanja trebala bi sustavno razmotriti ove čimbenike kako bi omogućila preciznije definiranje učinkovitosti ISO metode i njenog mjesta unutar različitih trenažnih paradigmi.

Trajanje intervencije od osam tjedana pokazalo se dostatnim za uočavanje promjena u debljini mišića, no možda nije bilo dovoljno dugo da bi se uočile izraženije promjene u mišićnoj arhitekturi. Dulji protokoli mogli bi omogućiti jasnije razlikovanje između trenažnih uvjeta, osobito s obzirom na moguće varijacije u intenzitetu, opterećenju i mišićnim skupinama.

Jedno od važnijih ograničenja odnosi se na nedostatak objektivne procjene pasivne napetosti tijekom istezanja. Nije potpuno jasno je li istezanje bilo isključivo pasivno ili je uključivalo određeni stupanj aktivacije mišića. Ako je aktivacija bila prisutna, to bi značilo da je dio istezanja zapravo uključivao ekscentričnu ili izometričku mišićnu akciju u istegnutoj poziciji. Ovaj aspekt mogao bi se preciznije razjasniti primjenom elektromiografije (EMG), koja bi omogućila kvantifikaciju razine aktivacije i

bolje razumijevanje odnosa između percipiranog intenziteta istezanja i stvarnog mehaničkog opterećenja. Buduća istraživanja trebala bi stoga uključiti EMG mjerenja radi jasnijeg razlikovanja pasivne i aktivne komponente istezanja te njihove povezanosti s hipertrofijskim odgovorom.

Ultrazvučna mjerenja, iako široko prihvaćena u istraživanjima mišićne arhitekture, pokazala su određena ograničenja u pogledu pouzdanosti između različitih mišićnih skupina, osobito pri procjeni duljine mišićnih vlakana. Unatoč visokom intraklasnom koeficijentu korelacije ($ICC = 0,92$), analiza Bland-Altmanovim postupkom ukazala je na veću pogrešku mjerenja nego što bi se to moglo zaključiti na temelju samog ICC-a. Time se naglašava važnost korištenja dodatnih metoda za procjenu pouzdanosti, budući da oslanjanje isključivo na ICC može stvoriti iskrivljenu sliku o preciznosti rezultata. Uključivanje Bland-Altmanove analize u ovom istraživanju predstavlja metodološki doprinos i poticaj budućim istraživačima da primjenjuju višedimenzionalne pristupe u procjeni valjanosti i pouzdanosti mjerenja.

Također, rezultati ukazuju na potrebu za standardizacijom protokola ultrazvučnih mjerenja. Trenutačne metode za procjenu duljine vlakana i debljine mišića nisu dovoljno pouzdane ni ujednačene, osobito između različitih regija i mišićnih skupina. Razvoj i validacija standardiziranih mjernih postupaka predstavljaju ključan preduvjet za napredak u razumijevanju strukturnih adaptacija izazvanih različitim oblicima treninga.

Nadalje, procjena maksimalne jakosti u ovom istraživanju temeljila se na procjeni 1RM pomoću formule izvedene iz broja ponavljanja do trenutnog koncentričnog otkaza i veličine savladanog opterećenja. Iako je ovaj pristup praktičan i široko primjenjivan, njegova preciznost može biti ograničena, osobito kada se koristi pri većem broju ponavljanja ili u uvjetima nedovoljnog oporavka između serija. Nedostatak izravne mjere maksimalne jakosti stoga predstavlja potencijalno ograničenje u procjeni stvarnih promjena u jakosti između uvjeta.

Napokon, s obzirom na to da je istraživanje provedeno u okviru dizajna unutar ispitanika, potrebno je razmotriti mogućnost pojave fenomena krosedukacije pri interpretaciji rezultata jakosti. Krosedukacija, koja označava povećanje jakosti kontralateralnog ekstremiteta nakon unilateralnog treninga, pripisuje se primarno neuralnim mehanizmima (Lee i sur., 2006; Lee i sur., 2007; Green i Gabriel, 2018). Ipak, s obzirom na to da su u ovom istraživanju obje strane tijela bile trenirane, te da se krosedukacija u pravilu javlja samo pri unilateralnom treningu (Hendy i sur., 2017), vrlo je vjerojatno da njezin učinak, ako je uopće bio prisutan, nije imao značajan utjecaj na rezultate.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog istraživanja može se zaključiti da primjena metode istezanja s otporom između serija ne dovodi do statistički značajno većih poboljšanja u mišićnoj hipertrofiji i jakosti u odnosu na tradicionalne metode treninga kod većine analiziranih mišićnih skupina. Ipak, uočen je povoljan učinak ISO metode na mišić *pectoralis major*, što upućuje na mogućnost da njezina učinkovitost ovisi o specifičnim biomehaničkim i anatomsko-funkcionalnim karakteristikama pojedinog mišića. Najvjerojatniji razlog takvih razlika jest viši percipirani intenzitet istezanja u tom mišiću, koji je rezultirao većom akumulacijom efektivne napetosti te posljedično snažnijim hipertrofijskim podražajem.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da učinkovitost ISO metode prvenstveno ovisi o sposobnosti zglobnog sustava da omogući veliku amplitudu pokreta pod opterećenjem te o dovoljnom intenzitetu istezanja koji stvara značajnu unutarmišićnu napetost potrebnu za poticanje dodatnih adaptacija. U praktičnom smislu, primjena ISO metode može biti korisna za razvoj mišića *pectoralis major*, dok za ostale mišićne skupine nema dovoljno empirijskih dokaza koji bi potvrdili njezinu učinkovitost. Budući da je metoda povezana s izraženom nelagodom i mogućim rizikom od preopterećenja, njezina se primjena preporučuje isključivo u određenim fazama trenažnog ciklusa te kod pojedinaca s odgovarajućom razinom iskustva i tolerancije na visoki intenzitet. U tom kontekstu, može se preporučiti selektivna i planska primjena ISO metode, s ciljem uvođenja trenažne varijacije, povećanja motivacijskog učinka te poticanja mogućeg dodatnog mišićnog rasta putem produljenog efektivnog vremena pod napetošću (VPN).

Iako je ultrazvučna metoda korištena u ovom istraživanju pouzdano sredstvo za procjenu promjena u debljini mišića, ona ne omogućuje detaljan uvid u promjene volumena niti u regionalne varijacije hipertrofije duž cijele mišićne strukture. Buduća istraživanja trebala bi stoga uključivati primjenu preciznijih slikovnih metoda, poput magnetske rezonancije (MRI), koje bi omogućile sveobuhvatnije razumijevanje promjena u volumenu i prostorne distribucije hipertrofije, dok bi upotreba ultrazvuka s proširenim vidnim poljem mogla omogućiti točniju procjenu duljine snopova mišićnih vlakana. Osim toga, potrebno je dodatno ispitati odnose između percipiranog intenziteta istezanja i stvarne mišićne aktivacije, primjerice primjenom elektromiografije (EMG), kako bi se utvrdilo razlikuje li se aktivacijski obrazac ovisno o vrsti vježbe, mišićnoj skupini i zglobnom sustavu.

Zaključno, nalazi ove disertacije doprinose boljem razumijevanju odnosa između istezanja s otporom i mišićne adaptacije, pokazujući da ISO metoda može imati selektivan, ali ograničen učinak u kontekstu hipertrofijskog treninga. Rezultati predstavljaju vrijedan doprinos daljnjem istraživanju mehanizama i optimalnih uvjeta primjene ISO metode, s ciljem preciznijeg definiranja njezina potencijala u unapređenju mišićnog rasta i trenažne učinkovitosti.

7. LITERATURA

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjær-Kristensen, J., & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *The Journal of Physiology*, 534(2), 613–623. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x>
- Abe, T., DeHoyos, D. v., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 81(3), 0174. <https://doi.org/10.1007/s004210050027>
- Ahtiainen, J. P., Walker, S., Peltonen, H., Holviala, J., Sillanpää, E., Karavirta, L., Sallinen, J., Mikkola, J., Valkeinen, H., Mero, A., Hulmi, J. J., & Häkkinen, K. (2016). Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 38(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9870-1>
- Alegre, L. M., Jiménez, F., Gonzalo-Orden, J. M., Martín-Acero, R., & Aguado, X. (2006). Effects of dynamic resistance training on fascicle length and isometric strength. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 501–508. <https://doi.org/10.1080/02640410500189322>
- Allen, D. G., Whitehead, N. P., & Yeung, E. W. (2005). Mechanisms of stretch-induced muscle damage in normal and dystrophic muscle: role of ionic changes. *The Journal of Physiology*, 567(Pt 3), 723–735. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.091694>
- Alway, S. E., Gonyea, W. J., & Davis, M. E. (1990). Muscle fiber formation and fiber hypertrophy during the onset of stretch-overload. *The American Journal of Physiology*, 259(1 Pt 1), C92-102. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1990.259.1.C92>
- Alway, S. E., Winchester, P. K., Davis, M. E., & Gonyea, W. J. (1989). Regionalized adaptations and muscle fiber proliferation in stretch-induced enlargement. *Journal of Applied Physiology*, 66(2), 771–781. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.2.771>
- Andrews, M. H., S, A. P., Gurchiek, R. D., Pincheira, P. A., Chaudhari, A. S., Hodges, P. W., Lichtwark, G. A., & Delp, S. L. (2024). Multiscale hamstring muscle adaptations

- following 9 weeks of eccentric training. *Journal of Sport and Health Science*, 100996. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2024.100996>
- Antonio, J., & Gonyea, W. J. (1993). Progressive stretch overload of skeletal muscle results in hypertrophy before hyperplasia. *Journal of Applied Physiology*, 75(3), 1263–1271. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.3.1263>
- Apostolopoulos, N., Metsios, G. S., Flouris, A. D., Koutedakis, Y., & Wyon, M. A. (2015). The relevance of stretch intensity and position—a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01128>
- Arntz, F., Markov, A., Behm, D. G., Behrens, M., Negra, Y., Nakamura, M., Moran, J., & Chaabene, H. (2023). Chronic Effects of Static Stretching Exercises on Muscle Strength and Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review with Multi-level Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 53(3), 723–745. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01806-9>
- Arntz, F., Markov, A., Schoenfeld, B. J., Behrens, M., Behm, D. G., Prieske, O., Negra, Y., & Chaabene, H. (2024). Chronic Effects of Static Stretching Exercises on Skeletal Muscle Hypertrophy in Healthy Individuals: A Systematic Review and Multilevel Meta-Analysis. *Sports Medicine - Open*, 10(1), 106. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00772-y>
- Arroyo, E., Stout, J. R., Beyer, K. S., Church, D. D., Varanoske, A. N., Fukuda, D. H., & Hoffman, J. R. (2018). Effects of supine rest duration on ultrasound measures of the vastus lateralis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(1), 155–157. <https://doi.org/10.1111/cpf.12403>
- Ashmore, C. R. (1982). Stretch-induced growth in chicken wing muscles: effects on hereditary muscular dystrophy. *The American Journal of Physiology*, 242(3), C178-83. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1982.242.3.C178>
- Åstroöm, M., & Westlin, N. (1994). Blood flow in the human achilles tendon assessed by laser doppler flowmetry. *Journal of Orthopaedic Research*, 12(2), 246–252. <https://doi.org/10.1002/jor.1100120214>
- Balshaw, T. G., Maden-Wilkinson, T. M., Massey, G. J., & Folland, J. P. (2021). The Human Muscle Size and Strength Relationship: Effects of Architecture, Muscle Force, and

- Measurement Location. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(10), 2140–2151. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002691>
- Barnett, J. G., Holly, R. G., & Ashmore, C. R. (1980). Stretch-induced growth in chicken wing muscles: biochemical and morphological characterization. *The American Journal of Physiology*, 239(1), C39-46. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1980.239.1.C39>
- Barroso, R., Tricoli, V., Santos Gil, S. dos, Ugrinowitsch, C., & Roschel, H. (2012). Maximal strength, number of repetitions, and total volume are differently affected by static-, ballistic-, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2432–2437. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2b4d>
- Barton-Davis, Shoturma, & Sweeney. (1999). Contribution of satellite cells to IGF-I induced hypertrophy of skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167(4), 301–305. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.1999.00618.x>
- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2021). Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 870–878. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002776>
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2633–2651. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1879-2>
- Behm, D. G., Kay, A. D., Trajano, G. S., & Blazevich, A. J. (2021). Mechanisms underlying performance impairments following prolonged static stretching without a comprehensive warm-up. *European Journal of Applied Physiology*, 121(1), 67–94. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04538-8>
- Behringer, M., Heinrich, C., & Franz, A. (2025). Anabolic signals and muscle hypertrophy – Significance for strength training in sports medicine. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 41(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2025.01.002>
- Benford, J., Hughes, J., Waldron, M., & Theis, N. (2021). Concentric versus eccentric training: Effect on muscle strength, regional morphology, and architecture. *Translational Sports Medicine*, 4(1), 46–55. <https://doi.org/10.1002/tsm2.197>

- Blazevich, A. J., Gill, N. D., & Zhou, S. (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289–310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x>
- Bodine, S. C., Stitt, T. N., Gonzalez, M., Kline, W. O., Stover, G. L., Bauerlein, R., Zlotchenko, E., Scrimgeour, A., Lawrence, J. C., Glass, D. J., & Yancopoulos, G. D. (2001). Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nature Cell Biology*, 3(11), 1014–1019. <https://doi.org/10.1038/ncb1101-1014>
- Booth, F., & Criswell, D. (1997). Molecular Events Underlying Skeletal Muscle Atrophy and the Development of Effective Countermeasures. *International Journal of Sports Medicine*, 18(S 4), S265–S269. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972723>
- Boppart, M. D., & Mahmassani, Z. S. (2019). Integrin signaling: linking mechanical stimulation to skeletal muscle hypertrophy. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 317(4), C629–C641. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00009.2019>
- Borg, T. K., & Caulfield, J. B. (1980). Morphology of connective tissue in skeletal muscle. *Tissue and Cell*, 12(1), 197–207. [https://doi.org/10.1016/0040-8166\(80\)90061-0](https://doi.org/10.1016/0040-8166(80)90061-0)
- Boyer, A., Hug, F., Avrillon, S., & Lacourpaille, L. (2021). Individual differences in the distribution of activation among the hamstring muscle heads during stiff-leg Deadlift and Nordic hamstring exercises. *Journal of Sports Sciences*, 39(16), 1830–1837. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1899405>
- Brandão, L., de Salles Painelli, V., Lasevicius, T., Silva-Batista, C., Brendon, H., Schoenfeld, B. J., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., de Almeida Peres, B., & Teixeira, E. L. (2020). Varying the Order of Combinations of Single- and Multi-Joint Exercises Differentially Affects Resistance Training Adaptations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1254–1263. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003550>
- Brentano, M. A., & Martins Kruehl, L. F. (2011). A review on strength exercise-induced muscle damage: applications, adaptation mechanisms and limitations. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(1), 1–10.
- Brightwell, C. R., Latham, C. M., Thomas, N. T., Keeble, A. R., Murach, K. A., & Fry, C. S. (2022). A glitch in the matrix: the pivotal role for extracellular matrix remodeling

- during muscle hypertrophy. *American Journal of Physiology. Cell Physiology*, 323(3), C763–C771. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00200.2022>
- Brynnel, A., Hernandez, Y., KISO, B., Lindqvist, J., Adler, M., Kolb, J., van der Pijl, R., Gohlke, J., Strom, J., Smith, J., Ottenheijm, C., & Granzier, H. L. (2018). Downsizing the molecular spring of the giant protein titin reveals that skeletal muscle titin determines passive stiffness and drives longitudinal hypertrophy. *ELife*, 7. <https://doi.org/10.7554/eLife.40532>
- 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>
- Bueno, A. F., Lemos, F. de A., Ferrareze, M. E., Santos, W. A. M. dos, Veronese, F. V., & Dias, A. S. (2017). Muscle thickness of the pectoralis major and rectus abdominis and level of physical activity in chronic hemodialysis patients. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*, 39(4). <https://doi.org/10.5935/0101-2800.20170071>
- Callegari, I. O. M., Santarem, P. S. M., Arrivabene, T. T., & Oliveira, A. G. (2024). Effect of Using Different Intensities in Resistance Training for Muscle Hypertrophy Gains—A Narrative Review. *Strength & Conditioning Journal*, 46(4), 426–436. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000819>
- Campos, G., Luecke, T., Wendeln, H., Toma, K., Hagerman, F., Murray, T., Ragg, K., Ratamess, N., Kraemer, W., & Staron, R. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1–2), 50–60. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0681-6>
- Carey Smith, R., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(4), 332–336. <https://doi.org/10.1007/BF00240413>
- Chaabene, H., Behm, D. G., Negra, Y., & Granacher, U. (2019). Acute Effects of Static Stretching on Muscle Strength and Power: An Attempt to Clarify Previous Caveats. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01468>

- Cosby, N. L., & Grindstaff, T. L. (2012). Restricted Ankle Dorsiflexion Self-mobilization. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 58–60. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31824526e8>
- Costa, B. D. de V., Kassiano, W., Nunes, J. P., Kunevaliki, G., Castro-E-Souza, P., Rodacki, A., Cyrino, L. T., Cyrino, E. S., & Fortes, L. de S. (2021). Does Performing Different Resistance Exercises for the Same Muscle Group Induce Non-homogeneous Hypertrophy? *International Journal of Sports Medicine*, 42(09), 803–811. <https://doi.org/10.1055/a-1308-3674>
- Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European Journal of Applied Physiology*, 118(3), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>
- 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. *Sports Medicine*, 45(6), 801–807. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0320-0>
- Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Mouser, J. G., & Loenneke, J. P. (2017). Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy? *European Journal of Applied Physiology*, 117(11), 2125–2135. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3690-1>
- Davis, J. F., Khir, A. W., Barber, L., Reeves, N. D., Khan, T., DeLuca, M., & Mohagheghi, A. A. (2020). The mechanisms of adaptation for muscle fascicle length changes with exercise: Implications for spastic muscle. *Medical Hypotheses*, 144, 110199. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.110199>
- De Camargo, J. B. B., Brigatto, F. A., Germano, M. D., da Conceição, R. M., Teixeira, I., Duarte, R. G., Fellet, L., Braz, T. v, Prestes, J., Marchetti, P. H., Willardson, J. M., & Lopes, C. R. (2022). Acute Effects of Inter-set Stretching on Performance and Metabolic Parameters of Resistance-trained Men. *International Journal of Exercise Science*, 15(4), 231–244.
- DeVol, D. L., Rotwein, P., Sadow, J. L., Novakofski, J., & Bechtel, P. J. (1990). Activation of insulin-like growth factor gene expression during work-induced skeletal muscle

- growth. *The American Journal of Physiology*, 259(1 Pt 1), E89-95.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.1990.259.1.E89>
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(5), 917–941.
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0628-4>
- Dorđević, S., Stančin, S., Meglič, A., Milutinović, V., & Tomažič, S. (2011). MC Sensor—A Novel Method for Measurement of Muscle Tension. *Sensors*, 11(10), 9411–9425.
<https://doi.org/10.3390/s111009411>
- Eftestøl, E., Egner, I. M., Lunde, I. G., Ellefsen, S., Andersen, T., Sjøland, C., Gundersen, K., & Bruusgaard, J. C. (2016). Increased hypertrophic response with increased mechanical load in skeletal muscles receiving identical activity patterns. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 311(4), C616–C629.
<https://doi.org/10.1152/ajpcell.00016.2016>
- Egerman, M. A., & Glass, D. J. (2014). Signaling pathways controlling skeletal muscle mass. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 49(1), 59–68.
<https://doi.org/10.3109/10409238.2013.857291>
- Erskine, R. M., Fletcher, G., & Folland, J. P. (2014). The contribution of muscle hypertrophy to strength changes following resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 114(6), 1239–1249. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2855-4>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Ferreira-Valente, M. A., Pais-Ribeiro, J. L., & Jensen, M. P. (2011). Validity of four pain intensity rating scales. *Pain*, 152(10), 2399–2404.
<https://doi.org/10.1016/j.pain.2011.07.005>
- Figueiredo, V. C. (2019). Revisiting the roles of protein synthesis during skeletal muscle hypertrophy induced by exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 317(5), R709–R718.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00162.2019>

- Figueiredo, V. C., de Salles, B. F., & Trajano, G. S. (2018). Volume for Muscle Hypertrophy and Health Outcomes: The Most Effective Variable in Resistance Training. *Sports Medicine*, 48(3), 499–505. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0793-0>
- Fitts, R. H., & Widrick, J. J. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24, 427–473.
- Fitts, R. H., McDonald, K. S., & Schluter, J. M. (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: Their adaptability with changes in activity pattern. *Journal of Biomechanics*, 24, 111–122. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(91\)90382-W](https://doi.org/10.1016/0021-9290(91)90382-W)
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The Adaptations to Strength Training. *Sports Medicine*, 37(2), 145–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>
- Fornalski, S., Gupta, R., & Lee, T. Q. (2003). Anatomy and biomechanics of the elbow joint. *Sports medicine and arthroscopy review*, 11(1), 1-9.
- Franchi, M. v., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. v. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica (Oxford, England)*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. v., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. v. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. v., Reeves, N. D., & Narici, M. v. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
- Frontera, W. R., i Ochala, J. (2015). Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcified TISQue International*, 96(3), 183–195. <https://doi.org/10.1007/s00223-014-9915-y>
- Fry, A. C. (2004). The Role of Resistance Exercise Intensity on Muscle Fibre Adaptations. *Sports Medicine*, 34(10), 663–679. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00004>

- Garner, B. A., & Pandy, M. G. (2003). Estimation of musculotendon properties in the human upper limb. *Annals of Biomedical Engineering*, 31(2), 207–220. <https://doi.org/10.1114/1.1540105>
- Geng, Y., Wu, X., Zhang, Y., & Zhang, M. (2024). Potential Moderators of the Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Hypertrophy: A Meta-analysis Based on a Comparison with High-Load Resistance Training. *Sports Medicine - Open*, 10(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00719-3>
- Geremia, J. M., Baroni, B. M., Bini, R. R., Lanferdini, F. J., de Lima, A. R., Herzog, W., & Vaz, M. A. (2019). Triceps Surae Muscle Architecture Adaptations to Eccentric Training. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01456>.
- Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*, 25(2), 141–151. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>
- Gibala, M. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Stauber, W. T., & Elorriaga, A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 78(2), 702–708. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.2.702>
- Glass, D. J. (2005). Skeletal muscle hypertrophy and atrophy signaling pathways. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 37(10), 1974–1984. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2005.04.018>
- Goldberg, A. L., Etlinger, J. D., Goldspink, D. F., & Jablecki, C. (1975). Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 185–198.
- Goldspink, G. (1999). Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. *Journal of Anatomy*, 194 (Pt 3)(Pt 3), 323–334. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1999.19430323.x>
- Gonyea, W. J., Sale, D. G., Gonyea, F. B., & Mikesky, A. (1986). Exercise induced increases in muscle fiber number. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2), 137–141. <https://doi.org/10.1007/BF00714995>

- Gonzalez-Freire, M., Semba, R. D., Ubaida-Mohien, C., Fabbri, E., Scalzo, P., Højlund, K., Dufresne, C., Lyashkov, A., & Ferrucci, L. (2017). The Human Skeletal Muscle Proteome Project: a reappraisal of the current literature. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 8(1), 5–18. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12121>
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 955–963.
- Green, L. A., & Gabriel, D. A. (2018). The cross education of strength and skill following unilateral strength training in the upper and lower limbs. *Journal of Neurophysiology*, 120(2), 468–479. <https://doi.org/10.1152/jn.00116.2018>
- Headley, S. A., Henry, K., Nindl, B. C., Thompson, B. A., Kraemer, W. J., & Jones, M. T. (2011). Effects of Lifting Tempo on One Repetition Maximum and Hormonal Responses to a Bench Press Protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 406–413. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf053b>
- Hendy, A. M., & Lamon, S. (2017). The Cross-Education Phenomenon: Brain and Beyond. *Frontiers in Physiology*, 8, 297. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00297>
- Hessel, A. L., Lindstedt, S. L., & Nishikawa, K. C. (2017). Physiological Mechanisms of Eccentric Contraction and Its Applications: A Role for the Giant Titin Protein. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00070>
- Hinks, A., Franchi, M. v., & Power, G. A. (2022). The influence of longitudinal muscle fascicle growth on mechanical function. *Journal of Applied Physiology*, 133(1), 87–103. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00114.2022>
- Hinks, A., Hawke, T. J., Franchi, M. v., & Power, G. A. (2023). The importance of serial sarcomere addition for muscle function and the impact of aging. *Journal of Applied Physiology*, 135(2), 375–393. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00205.2023>
- Hinks, A., Hawke, T. J., Franchi, M. v., & Power, G. A. (2023). The importance of serial sarcomere addition for muscle function and the impact of aging. *Journal of Applied Physiology*, 135(2), 375–393. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00205.2023>
- JoanISOe, S., Nederveen, J. P., Snijders, T., McKay, B. R., & Parise, G. (2017). Skeletal Muscle Regeneration, Repair and Remodelling in Aging: The Importance of Muscle

- Stem Cells and Vascularization. *Gerontology*, 63(1), 91–100.
<https://doi.org/10.1159/000450922>
- Junior, R. M., Berton, R., de Souza, T. M. F., Chacon-Mikahil, M. P. T., & Cavaglieri, C. R. (2017). Effect of the flexibility training performed immediately before resistance training on muscle hypertrophy, maximum strength and flexibility. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 767–774. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3527-3>
- Kanehisa, H., Ito, M., Kawakami, Y., Fukunaga, T., & Miyatani, M. (2004). The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *European Journal of Applied Physiology*, 91(2–3), 264–272.
<https://doi.org/10.1007/s00421-003-0974-4>
- Kang, M., Kim, J., Choung, S., Park, K., Kwon, O., & Oh, J. (2014). Immediate effect of walking with talus-stabilizing taping on ankle kinematics in subjects with limited ankle dorsiflexion. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 156–161.
<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.09.001>
- Kassiano, W., Costa, B., Kunevaliki, G., Lisboa, F., Stavinski, N., Prado, A., Tricoli, I., Francsuel, J., Lima, L., Nunes, J., Ribeiro, A. S., & Cyrino, E. S. (2025). Distinct muscle growth and strength adaptations after preacher and incline biceps curls. *International Journal of Sports Medicine*, 46(05), 334–343. <https://doi.org/10.1055/a-2517-0509>
- Kassiano, W., Costa, B., Kunevaliki, G., Soares, D., Zacarias, G., Manske, I., Takaki, Y., Ruggiero, M. F., Stavinski, N., Francsuel, J., Tricoli, I., Carneiro, M. A. S., & Cyrino, E. S. (2023). Greater Gastrocnemius Muscle Hypertrophy After Partial Range of Motion Training Performed at Long Muscle Lengths. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(9), 1746–1753.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004460>
- Kassiano, W., Costa, B., Kunevaliki, G., Soares, D., Zacarias, G., Manske, I., Takaki, Y., Ruggiero, M. F., Stavinski, N., Francsuel, J., Tricoli, I., Carneiro, M. A. S., & Cyrino, E. S. (2023). Greater Gastrocnemius Muscle Hypertrophy After Partial Range of Motion Training Performed at Long Muscle Lengths. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(9), 1746–1753.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004460>

- Kassiano, W., Costa, B., Nunes, J. P., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., & Cyrino, E. S. (2023). Which ROMs Lead to Rome? A Systematic Review of the Effects of Range of Motion on Muscle Hypertrophy. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(5), 1135–1144. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004415>
- Kawakami, Y. (2005). The Effects of Strength Training on Muscle Architecture in Humans. *International Journal of Sport and Health Science*, 3(Special_ISOue_2), 208–217. <https://doi.org/10.5432/ijshs.3.208>
- Kawakami, Y., Ichinose, Y., & Fukunaga, T. (1998). Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. *Journal of Applied Physiology*, 85(2), 398–404. <https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.2.398>
- Krieger, J. W. (2010). Single vs. Multiple Sets of Resistance Exercise for Muscle Hypertrophy: A Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1150–1159. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d4d436>
- Kruse, A., Rivas, C., Weide, G., Tilp, M., & Jaspers, R. T. (2021). Stimuli for Adaptations in Muscle Length and the Length Range of Active Force Exertion-A Narrative Review. *Frontiers in Physiology*, 12, 742034. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.742034>
- Kruse, N. T., Silette, C. R., & Scheuermann, B. W. (2016). Influence of passive stretch on muscle blood flow, oxygenation and central cardiovascular responses in healthy young males. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 310(9), H1210–H1221. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00732.2015>
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2021). Effects of 4, 8, and 12 Repetition Maximum Resistance Training Protocols on Muscle Volume and Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(4), 879–885. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003575>
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures *in vivo*. *The Journal of Physiology*, 538(1), 219–226. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.012703>
- Kubota, A., Sakuraba, K., Sawaki, K., Sumide, T., & Tamura, Y. (2008). Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(3), 529–534. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31815ddac6>

- Lacio, M., Vieira, J. G., Trybulski, R., Campos, Y., Santana, D., Filho, J. E., Novaes, J., Vianna, J., & Wilk, M. (2021). Effects of Resistance Training Performed with Different Loads in Untrained and Trained Male Adult Individuals on Maximal Strength and Muscle Hypertrophy: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11237. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111237>
- Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Silva-Batista, C., Barros, T. de S., Aihara, A. Y., Brendon, H., Longo, A. R., Tricoli, V., Peres, B. de A., & Teixeira, E. L. (2022). Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 346–351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003454>
- Lasevicius, T., Ugrinowitsch, C., Schoenfeld, B. J., Roschel, H., Tavares, L. D., de Souza, E. O., Laurentino, G., & Tricoli, V. (2018). Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *European Journal of Sport Science*, 18(6), 772–780. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1450898>
- Lee, M., & Carroll, T. J. (2007). Cross Education. *Sports Medicine*, 37(1), 1–14. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737010-00001>
- Lee, M., Gandevia, S. C., & Carroll, T. J. (2009). Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clinical Neurophysiology*, 120(4), 802–808. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.01.002>
- Liegnell, R., Wessman, F., Shalabi, A., & Harringe, M. (2021). Validity of ultrasonography-derived predictions for estimating skeletal muscle volume: a systematic literature review. *BMC Medical Imaging*, 21(1), 106. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00638-9>
- Lim, C., Nunes, E. A., Currier, B. S., Mcleod, J. C., Thomas, A. C. Q., & Phillips, S. M. (2022). An Evidence-Based Narrative Review of Mechanisms of Resistance Exercise–Induced Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(9), 1546–1559. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002929>
- Lim, W., & Park, H. (2017). No significant correlation between the intensity of static stretching and subject’s perception of pain. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(10), 1856–1859. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1856>

- Lixandrão, M. E., Bamman, M., Vechin, F. C., Conceicao, M. S., Telles, G., Longobardi, I., Damas, F., Lavin, K. M., Drummer, D. J., McAdam, J. S., Dungan, C. M., Leitão, A. E., Riani Costa, L. A., Aihara, A. Y., Libardi, C. A., Gualano, B., & Roschel, H. (2024). Higher resistance training volume offsets muscle hypertrophy nonresponsiveness in older individuals. *Journal of Applied Physiology*, 136(2), 421–429. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00670.2023>
- Lixandrão, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., Libardi, C. A., & Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(2), 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Longo, A. R., Silva-Batista, C., Pedroso, K., de Salles Painelli, V., Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Aihara, A. Y., de Almeida Peres, B., Tricoli, V., & Teixeira, E. L. (2022). Volume Load Rather Than Resting Interval Influences Muscle Hypertrophy During High-Intensity Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(6), 1554–1559. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003668>
- Lucas, D. B. (1973). Biomechanics of the Shoulder Joint. *Archives of Surgery*, 107(3), 425. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1973.01350210061018>
- Maeo, S., Wu, Y., Huang, M., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2023). Triceps brachii hypertrophy is substantially greater after elbow extension training performed in the overhead versus neutral arm position. *European Journal of Sport Science*, 23(7), 1240–1250. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2100279>
- Martin, S., & Sanchez, E. (2013). Anatomy and Biomechanics of the Elbow Joint. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 17(05), 429–436. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1361587>
- Martin-Rodriguez, S., Gonzalez-Henriquez, J. J., Diaz-Conde, J. C., Calbet, J. A. L., & Sanchis-Moysi, J. (2024). The relationship between muscle thickness and pennation angle is mediated by fascicle length in the muscles of the lower extremities. *Scientific Reports*, 14(1), 14847. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65100-6>
- Martins-Costa, H. C., Lacerda, L. T., Diniz, R. C. R., Lima, F. v, Andrade, A. G. P., Peixoto, G. H., Gomes, M. C., Lanza, M. B., Bemben, M. G., & Chagas, M. H. (2022).

- Equalization of Training Protocols by Time Under Tension Determines the Magnitude of Changes in Strength and Muscular Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(7), 1770–1780. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004004>
- 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>
- Matta, T., Simão, R., de Salles, B. F., Spinetti, J., & Oliveira, L. F. (2011). Strength Training's Chronic Effects on Muscle Architecture Parameters of Different Arm Sites. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1711–1717. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dba162>
- Maughan, R. J., Watson, J. S., & Weir, J. (1984). Muscle strength and cross-sectional area in man: a comparison of strength-trained and untrained subjects. *British Journal of Sports Medicine*, 18(3), 149–157. <https://doi.org/10.1136/bjism.18.3.149>
- McHugh, M. P. (2003). Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(2), 88–97. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.02477.x>
- Meijer, J. P., Jaspers, R. T., Rittweger, J., Seynnes, O. R., Kamandulis, S., Brazaitis, M., Skurvydas, A., Pišot, R., Šimunič, B., Narici, M. v, & Degens, H. (2015). Single muscle fibre contractile properties differ between body-builders, power athletes and control subjects. *Experimental Physiology*, 100(11), 1331–1341. <https://doi.org/10.1113/EP085267>
- Meyer, G. A., & Lieber, R. L. (2011). Elucidation of extracellular matrix mechanics from muscle fibers and fiber bundles. *Journal of Biomechanics*, 44(4), 771–773. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.10.044>
- Mohamad, N. I., Nosaka, K., & Cronin, J. (2011). Maximizing Hypertrophy: Possible Contribution of Stretching in the Interset Rest Period. *Strength & Conditioning Journal*, 33(1), 81–87. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181fe7164>

- Morgan, D. L., & Talbot, J. A. (2002). The addition of sarcomeres in series is the main protective mechanism following eccentric exercise. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 02(03n04), 421–431. <https://doi.org/10.1142/S0219519402000423>
- Mukund, K., & Subramaniam, S. (2020). Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Systems Biology and Medicine*, 12(1), e1462. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1462>.
- Nakamura, M., Ikezu, H., Sato, S., Yahata, K., Kiyono, R., Yoshida, R., Takeuchi, K., & Nunes, J. P. (2021). Effects of Adding Inter-Set Static Stretching to Flywheel Resistance Training on Flexibility, Muscular Strength, and Regional Hypertrophy in Young Men. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3770. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073770>
- Nelson, A. G., Kokkonen, J., & Arnall, D. A. (2005). Acute muscle stretching inhibits muscle strength endurance performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 338–343. <https://doi.org/10.1519/R-15894.1>
- Nishikawa, K., Dutta, S., DuVall, M., Nelson, B., Gage, M. J., & Monroy, J. A. (2020). Calcium-dependent titin–thin filament interactions in muscle: observations and theory. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 41(1), 125–139. <https://doi.org/10.1007/s10974-019-09540-y>
- Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 271–281. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0583-8>
- Nunes, J. P., Blazeovich, A. J., Schoenfeld, B. J., Kassiano, W., Costa, B. D. V., Ribeiro, A. S., Nakamura, M., Nosaka, K., & Cyrino, E. S. (2024). Determining Changes in Muscle Size and Architecture After Exercise Training: One Site Does Not Fit all. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(4), 787–790. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004722>
- Nunes, J. P., Kassiano, W., Costa, B. D. v., Mayhew, J. L., Ribeiro, A. S., & Cyrino, E. S. (2021). Equating Resistance-Training Volume Between Programs Focused on Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 51(6), 1171–1178. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01449-2>

- Nunes, J. P., Nakamura, M., Schoenfeld, B. J., & Cyrino, E. S. (2018). The data do not seem to support the effect of stretch training on increasing muscle thickness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(12), 2767–2768. <https://doi.org/10.1111/sms.13285>
- Nunes, J. P., Schoenfeld, B. J., Nakamura, M., Ribeiro, A. S., Cunha, P. M., & Cyrino, E. S. (2020). Does stretch training induce muscle hypertrophy in humans? A review of the literature. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 40(3), 148–156. <https://doi.org/10.1111/cpf.12622>
- Oranchuk, D. J., Storey, A. G., Nelson, A. R., & Cronin, J. B. (2019). Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(4), 484–503. <https://doi.org/10.1111/sms.13375>
- Ottinger, C. R., Sharp, M. H., Stefan, M. W., Gheith, R. H., de la Espriella, F., & Wilson, J. M. (2022). Muscle Hypertrophy Response to Range of Motion in Strength Training: A Novel Approach to Understanding the Findings. *Strength & Conditioning Journal*. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000737>
- Padilha, U. C., Vieira, A., Vieira, D. C. L., Lima, F. D. de, Junior, V. A. R., Tufano, J. J., & Bottaro, M. (2019). Could inter-set stretching increase acute neuromuscular and metabolic responses during resistance exercise? *European Journal of Translational Myology*, 29(4), 8579. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2019.8579>
- Panidi, I., Bogdanis, G. C., Terzis, G., Donti, A., Konrad, A., Gaspari, V., & Donti, O. (2021). Muscle Architectural and Functional Adaptations Following 12-Weeks of Stretching in Adolescent Female Athletes. *Frontiers in Physiology*, 12, 701338. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.701338>
- Panidi, I., Donti, O., Konrad, A., Dinas, P. C., Terzis, G., Mouratidis, A., Gaspari, V., Donti, A., & Bogdanis, G. C. (2023). Muscle Architecture Adaptations to Static Stretching Training: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine - Open*, 9(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00591-7>
- Pedrosa, G. F., Simões, M. G., Figueiredo, M. O. C., Lacerda, L. T., Schoenfeld, B. J., Lima, F. v., Chagas, M. H., & Diniz, R. C. R. (2023). Training in the Initial Range of Motion

- Promotes Greater Muscle Adaptations Than at Final in the Arm Curl. *Sports*, 11(2), 39. <https://doi.org/10.3390/sports11020039>
- Persad, L. S., Wang, Z., Pino, P. A., Binder-Markey, B. I., Kaufman, K. R., & Lieber, R. L. (2024). Specific tension of human muscle in vivo: a systematic review. *Journal of Applied Physiology*, 137(4), 945–962. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00296.2024>
- Pincheira, P. A., Boswell, M. A., Franchi, M. v., Delp, S. L., & Lichtwark, G. A. (2022). Biceps femoris long head sarcomere and fascicle length adaptations after 3 weeks of eccentric exercise training. *Journal of Sport and Health Science*, 11(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.09.002>
- Radaelli, R., Fleck, S. J., Leite, T., Leite, R. D., Pinto, R. S., Fernandes, L., & Simão, R. (2015). Dose-response of 1, 3, and 5 sets of resistance exercise on strength, local muscular endurance, and hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1349–1358. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000758>
- Ralston, G. W., Kilgore, L., Wyatt, F. B., & Baker, J. S. (2017). The Effect of Weekly Set Volume on Strength Gain: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(12), 2585–2601. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0762-7>
- Reggiani, C., & Schiaffino, S. (2020). Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *European Journal of Translational Myology*, 30(3), 9311. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2020.9311>
- Ren, D., Song, J., Liu, R., Zeng, X., Yan, X., Zhang, Q., & Yuan, X. (2021). Molecular and Biomechanical Adaptations to Mechanical Stretch in Cultured Myotubes. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.689492>
- Roberts, B. M., Nuckols, G., & Krieger, J. W. (2020). Sex Differences in Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1448–1460. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003521>
- Roberts, M. D., McCarthy, J. J., Hornberger, T. A., Phillips, S. M., Mackey, A. L., Nader, G. A., Boppart, M. D., Kavazis, A. N., Reidy, P. T., Ogasawara, R., Libardi, C. A., Ugrinowitsch, C., Booth, F. W., & Esser, K. A. (2023). Mechanisms of mechanical overload-induced skeletal muscle hypertrophy: current understanding and future

- directions. *Physiological Reviews*, 103(4), 2679–2757.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00039.2022>
- Rogatzki, M. J., Wright, G. A., Mikat, R. P., & Brice, A. G. (2014). Blood Ammonium and Lactate Accumulation Response to Different Training Protocols Using the Parallel Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1113–1118.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f84e>
- Russell, B., Motlagh, D., & Ashley, W. W. (2000). Form follows function: how muscle shape is regulated by work. *Journal of Applied Physiology*, 88(3), 1127–1132.
<https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.1127>
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of Movement Velocity on the Relationship Between Training Load and the Number of Repetitions of Bench Press. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 523. <https://doi.org/10.1519/16794.1>
- Santos, C. X., Beltrão, N. B., Pirauá, A. L. T., Durigan, J. L. Q., Behm, D., & de Araújo, R. C. (2020). Static Stretching Intensity Does Not Influence Acute Range of Motion, Passive Torque, and Muscle Architecture. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(1), 1–6.
<https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0178>
- Sato, S., Yoshida, R., Kiyono, R., Yahata, K., Yasaka, K., Nunes, J. P., Nosaka, K., & Nakamura, M. (2021). Elbow Joint Angles in Elbow Flexor Unilateral Resistance Exercise Training Determine Its Effects on Muscle Strength and Thickness of Trained and Non-trained Arms. *Frontiers in Physiology*, 12, 734509.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.734509>
- Schiaffino, S., Reggiani, C., Akimoto, T., & Blaauw, B. (2021). Molecular Mechanisms of Skeletal Muscle Hypertrophy. *Journal of Neuromuscular Diseases*, 8(2), 169–183.
<https://doi.org/10.3233/JND-200568>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Schoenfeld, B. J. (2012). Does Exercise-Induced Muscle Damage Play a Role in Skeletal Muscle Hypertrophy? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 1441–1453. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f207e>

- Schoenfeld, B. J. (2013a). Is There a Minimum Intensity Threshold for Resistance Training-Induced Hypertrophic Adaptations? *Sports Medicine*, 43(12), 1279–1288. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0088-z>
- Schoenfeld, B. J. (2013b). 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. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. v., & Krieger, J. W. (2017a). Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2599–2608. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001983>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017b). 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>
- Schoenfeld, B. J., Vigotsky, A., Contreras, B., Golden, S., Alto, A., Larson, R., Winkelman, N., & Paoli, A. (2018). Differential effects of attentional focus strategies during long-term resistance training. *European Journal of Sport Science*, 18(5), 705–712. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1447020>
- Schoenfeld, B. J., Wackerhage, H., & de Souza, E. (2022). Inter-set stretch: A potential time-efficient strategy for enhancing skeletal muscle adaptations. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1035190>
- Schoenfeld, B., & Grgic, J. (2018). Evidence-Based Guidelines for Resistance Training Volume to Maximize Muscle Hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, 40(4), 107–112. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000363>
- Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1997). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European Journal of Applied*

- Physiology and Occupational Physiology*, 77(1–2), 189–191.
<https://doi.org/10.1007/s004210050319>
- Silva, J. E., Lowery, R. P., Antonio, J., McCleary, S., Rauch, J., Ormes, J., Shields, K., Georges, J., Weiner, S., Joy, J., & Wilson, J. (2014). Weighted post-set stretching increases skeletal muscle hypertrophy. *In NSCA 2014 Annual Meeting. Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(Suppl. 1), 65.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000655>
- Simic, L., Sarabon, N., & Markovic, G. (2013). Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(2), 131–148. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x>
- Simpson, C. L., Kim, B. D. H., Bourcet, M. R., Jones, G. R., & Jakobi, J. M. (2017). Stretch training induces unequal adaptation in muscle fascicles and thickness in medial and lateral gastrocnemii. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1597–1604. <https://doi.org/10.1111/sms.12822>
- Snyder, B. J., & Fry, W. R. (2012). Effect of Verbal Instruction on Muscle Activity During the Bench Press Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2394–2400. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f8d11>
- Snyder, B. J., & Leech, J. R. (2009). Voluntary Increase in LatISSimus Dorsi Muscle Activity During the Lat Pull-Down Following Expert Instruction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(8), 2204–2209.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bb7213>
- Sola, O. M., Christensen, D. L., & Martin, A. W. (1973). Hypertrophy and hyperplasia of adult chicken anterior latISSimus dorsi muscles following stretch with and without denervation. *Experimental Neurology*, 41(1), 76–100. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(73\)90182-9](https://doi.org/10.1016/0014-4886(73)90182-9)
- Souza, A. C., Bentes, C. M., de Salles, B. F., Reis, V. M., Alves, J. V., Miranda, H., & Novaes, J. da S. (2013). Influence of inter-set stretching on strength, flexibility and hormonal adaptations. *Journal of Human Kinetics*, 36, 127–135. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0013>

- Spendier, F., Müller, A., Korinek, M., & Hofmann, P. (2020). Intensity Thresholds and Maximal Lactate Steady State in Small Muscle Group Exercise. *Sports*, 8(6), 77. <https://doi.org/10.3390/sports8060077>
- Stasinaki, A.-N., Zaras, N., Methenitis, S., Tsitkanou, S., Krase, A., Kavvoura, A., & Terzis, G. (2018). Triceps Brachii Muscle Strength and Architectural Adaptations with Resistance Training Exercises at Short or Long Fascicle Length. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 3(2), 28. <https://doi.org/10.3390/jfmk3020028>
- Stožer, A., Vodopivec, P., & Križančić Bombek, L. (2020). Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiological Research*, 69(4), 565–598. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934371>
- Suga, T., Okita, K., Morita, N., Yokota, T., Hirabayashi, K., Horiuchi, M., Takada, S., Takahashi, T., Omokawa, M., Kinugawa, S., & Tsutsui, H. (2009). Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 106(4), 1119–1124. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.90368.2008>
- Tabary, J. C., Tabary, C., Tardieu, C., Tardieu, G., & Goldspink, G. (1972). Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. *The Journal of Physiology*, 224(1), 231–244. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1972.sp009891>
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000a). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
- Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000b). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 88(6), 2097–2106. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2097>
- Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1150–1157. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00741.2005>

- Taylor, K.-L., Sheppard, J. M., Lee, H., & Plummer, N. (2009). Negative effect of static stretching restored when combined with a sport specific warm-up component. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.04.004>
- Taylor, N. A. S., & Wilkinson, J. G. (1986). Exercise-Induced Skeletal Muscle Growth. *Sports Medicine*, 3(3), 190–200. <https://doi.org/10.2165/00007256-198603030-00003>
- Teixeira, E. L., Ugrinowitsch, C., de Salles Painelli, V., Silva-Batista, C., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., Roschel, H., & Tricoli, V. (2021). Blood Flow Restriction Does Not Promote Additional Effects on Muscle Adaptations When Combined With High-Load Resistance Training Regardless of Blood Flow Restriction Protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1194–1200. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003965>
- Tesch, P. A., & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(3), 301–306. <https://doi.org/10.1007/BF00441291>
- 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>
- Thong, I. S. K., Jensen, M. P., Miró, J., & Tan, G. (2018). The validity of pain intensity measures: what do the NRS, VAS, VRS, and FPS-R measure? *Scandinavian Journal of Pain*, 18(1), 99–107. <https://doi.org/10.1515/sjpain-2018-0012>
- Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>
- Tominari, T., Ichimaru, R., Taniguchi, K., Yumoto, A., Shirakawa, M., Matsumoto, C., Watanabe, K., Hirata, M., Itoh, Y., Shiba, D., Miyaura, C., & Inada, M. (2019). Hypergravity and microgravity exhibited reversal effects on the bone and muscle mass in mice. *Scientific Reports*, 9(1), 6614. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42829-z>
- Tran, Q. T., & Docherty, D. (2006). Dynamic training volume: a construct of both time under tension and volume load. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(4), 707–713.

- Trappe, S., Costill, D., Gallagher, P., Creer, A., Peters, J. R., Evans, H., Riley, D. A., & Fitts, R. H. (2009). Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1159–1168. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.91578.2008>
- Travis, S. K., Ishida, A., Taber, C. B., Fry, A. C., & Stone, M. H. (2020). Emphasizing Task-Specific Hypertrophy to Enhance Sequential Strength and Power Performance. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(4), 76. <https://doi.org/10.3390/jfmk5040076>
- Van der Pijl, R. J., Hudson, B., Granzier-Nakajima, T., Li, F., Knottnerus, A. M., Smith, J., Chung, C. S., Gotthardt, M., Granzier, H. L., & Ottenheijm, C. A. C. (2020). Deleting Titin's C-Terminal PEVK Exons Increases Passive Stiffness, Alters Splicing, and Induces Cross-Sectional and Longitudinal Hypertrophy in Skeletal Muscle. *Frontiers in Physiology*, 11, 494. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00494>
- Van der Pijl, R., Strom, J., Conijn, S., Lindqvist, J., Labeit, S., Granzier, H., & Ottenheijm, C. (2018). Titin-based mechanosensing modulates muscle hypertrophy. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9(5), 947–961. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12319>
- Van Every, D. W., Coleman, M., Rosa, A., Zambrano, H., Plotkin, D., Torres, X., Mercado, M., de Souza, E. O., Alto, A., Oberlin, D. J., Vigotsky, A. D., & Schoenfeld, B. J. (2022). Loaded inter-set stretch may selectively enhance muscular adaptations of the plantar flexors. *PloS One*, 17(9), e0273451. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273451>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003936>
- Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biology International*, 24(5), 263–272. <https://doi.org/10.1006/cbir.2000.0499>

- Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Than, C., & Brown, J. M. (2018). Methods matter: the relationship between strength and hypertrophy depends on methods of measurement and analysis. *PeerJ*, 6, e5071. <https://doi.org/10.7717/peerj.5071>
- Wakahara, T., Ema, R., Miyamoto, N., & Kawakami, Y. (2017). Inter- and intramuscular differences in training-induced hypertrophy of the quadriceps femoris: association with muscle activation during the first training session. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(4), 405–412. <https://doi.org/10.1111/cpf.12318>
- Wakahara, T., Fukutani, A., Kawakami, Y., & Yanai, T. (2013). Nonuniform muscle hypertrophy: its relation to muscle activation in training session. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2158–2165. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182995349>
- Wakahara, T., Miyamoto, N., Sugisaki, N., Murata, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., Fukunaga, T., & Yanai, T. (2012). Association between regional differences in muscle activation in one session of resistance exercise and in muscle hypertrophy after resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1569–1576. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2121-y>
- Wang, J., Hu, Y., & Tian, G. (2018). Ultrasound measurements of gastrocnemius muscle thickness in older people with sarcopenia. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 2193–2199. <https://doi.org/10.2147/CIA.S179445>
- Warneke, K., & Lohmann, L. H. (2024). Revisiting the stretch-induced force deficit: A systematic review with multilevel meta-analysis of acute effects. *Journal of Sport and Health Science*, 13(6), 805–819. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2024.05.002>
- Warneke, K., Keiner, M., Hillebrecht, M., & Schieman, S. (2022). Influence of One Hour versus Two Hours of Daily Static Stretching for Six Weeks Using a Calf-Muscle-Stretching Orthosis on Maximal Strength. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11621. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811621>
- Warneke, K., Keiner, M., Wohllann, T., Lohmann, L. H., Schmitt, T., Hillebrecht, M., Brinkmann, A., Hein, A., Wirth, K., & Schieman, S. (2023a). Influence of Long-Lasting Static Stretching Intervention on Functional and Morphological Parameters in the Plantar Flexors: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Strength and*

- Warneke, K., Lohmann, L. H., Behm, D. G., Wirth, K., Keiner, M., Schiemann, S., & Wilke, J. (2024). Effects of Chronic Static Stretching on Maximal Strength and Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis with Meta-Regression. *Sports Medicine - Open*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00706-8>
- Warneke, K., Lohmann, L. H., Lima, C. D., Hollander, K., Konrad, A., Zech, A., Nakamura, M., Wirth, K., Keiner, M., & Behm, D. G. (2023b). Physiology of Stretch-Mediated Hypertrophy and Strength Increases: A Narrative Review. *Sports Medicine*, 53(11), 2055–2075. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01898-x>
- Warneke, K., Wirth, K., Keiner, M., Lohmann, L. H., Hillebrecht, M., Brinkmann, A., Wohllann, T., & Schiemann, S. (2023c). Comparison of the effects of long-lasting static stretching and hypertrophy training on maximal strength, muscle thickness and flexibility in the plantar flexors. *European Journal of Applied Physiology*, 123(8), 1773–1787. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05184-6>
- Warneke, K., Wirth, K., Keiner, M., Lohmann, L. H., Hillebrecht, M., Brinkmann, A., Wohllann, T., & Schiemann, S. (2023d). Influence of Long-Lasting Static Stretching Intervention on Functional and Morphological Parameters in the Plantar Flexors: A Randomized Controlled Trial. *European Journal of Applied Physiology*, 123(8), 1773–1787. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05184-6>
- Whittaker, J. L., Thompson, J. A., Teyhen, D. S., & Hodges, P. (2007). Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(8), 487–498. <https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2548>
- Wilk, M., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2021). The Influence of Movement Tempo During Resistance Training on Muscular Strength and Hypertrophy Responses: A Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(8), 1629–1650. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01465-2>
- Wisdom, K. M., Delp, S. L., & Kuhl, E. (2015). Use it or lose it: multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14(2), 195–215. <https://doi.org/10.1007/s10237-014-0607-3>

- Wohlann, T., Warneke, K., Kalder, V., Behm, D. G., Schmidt, T., & Schiemann, S. (2024). Influence of 8-weeks of supervised static stretching or resistance training of pectoral major muscles on maximal strength, muscle thickness and range of motion. *European Journal of Applied Physiology*, 124(6), 1885–1893. <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05413-y>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth: A Systematic Review. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 94–101. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000574>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Francés, M., Zubillaga, A., & Santos-Concejero, J. (2023). Regional Hypertrophy: The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women. *Journal of Human Kinetics*, 87, 259–270. <https://doi.org/10.5114/jhk/163561>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 39(20), 2298–2304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736>
- Zöllner, A. M., Abilez, O. J., Böl, M., & Kuhl, E. (2012). Stretching Skeletal Muscle: Chronic Muscle Lengthening through Sarcomerogenesis. *PLoS ONE*, 7(10), e45661. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045661>

8. ŽIVOTOPIS I POPIS JAVNO OBJAVLJENIH RADOVA AUTORA

Andrija Mikša, rođen 3. rujna 1996. godine u Zagrebu. Državljanin je Republike Hrvatske i po nacionalnosti Hrvat.

Nakon završetka Osnovne škole Marija Bistrica upisuje XV. Gimnaziju u Zagrebu. Po završetku gimnazije, upisuje Kineziološki fakultet na kojem stječe titulu magistra kineziologije s najboljim prosjekom ocjena u generaciji, zbog kojeg i dobiva Dekanove nagrade. Netom nakon završenog magisterija upisuje doktorski studij na istom fakultetu. Za vrijeme dokorskog studija sudjeluje u izvođenju nastave kao vanjski suradnik na predmetima Osnovne kineziološke transformacije, Kineziološka rekreacija te Metodika kineziološke rekreacije u turizmu.

Uz studij radi individualne treninge u fitnessu i kondicijskoj pripremi te tijekom ljetnih mjeseci radi kao „stay fit specijalist“ gdje radi širok spektar poslova od individualnih i grupnih treninga u svrhu ostvarivanja različitih ciljeva sa osobama svih dobnih skupina, do vođenja škole nogometa, rukometa, odbojke i košarke.

8.1. Popis radova

Mikša, A., & Vuk, S. (2025). Sex Differences in Regional Muscle Hypertrophy and Elbow Flexion and Extension Strength. *Sport Mont*, 23(3), 81–87.
<https://doi.org/10.26773/smj.251012>

Arbanas, I., Dadić, M., Milanović, L., Mikša, A., & Krakan, I. (2024). Differences in functional movement capabilities between junior cadet and cadet boxers. In *10th International Scientific Conference on Kinesiology, Opatija, 12–15 September 2024* (pp. 221–224). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Mikša, A., Milanović, M., Perinović, V., Krošnjar, N., & Dadić, M. (2024). Pokazatelji natjecateljskih izvedaba rukometaša pobjedničkih i poraženih ekipa u grupi B Europskog prvenstva 2024. godine. In M. Dadić, I. Jukić, L. Milanović, V. Naglič, & I. Krakan (Eds.), *Zbornik radova 22. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša*, Zagreb, 23 February 2024 (pp. 60–63). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

- Mikša, A. (2023). Potencijalni biološki mehanizmi učinka vježbanja na prevenciju ponovnog nakupljanja tjelesne težine nakon mršavljenja. In G. Leko (Ed.), Zbornik radova 31. ljetne škole kineziologa, Praćenje tjelesne spremnosti djece i mladih, iskustva u primjeni, Zadar, 28 June–01 July 2023 (pp. 821–826). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
- Mikša, A. (2023). Utječe li količina potkožnog masnog tkiva na privlačnost? In G. Leko (Ed.), Zbornik radova 31. ljetne škole kineziologa, Praćenje tjelesne spremnosti djece i mladih, iskustva u primjeni, Zadar, 28 June–01 July 2023 (pp. 816–821). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
- Mikša, A. (2023). Kako trenirati nakon noći deprivacije sna? In M. Dadić, L. Milanović, V. Werthamer, I. Jukić, V. Naglić, & I. Krakan (Eds.), Zbornik radova 21. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša, Zagreb, 24 February 2023 (pp. 167–170). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Mikša, A. (2023). Razlike vrhunskih rukometašica kadetske (U15) i seniorske dobi u brzinsko-eksplozivnim svojstvima. In M. Dadić, L. Milanović, V. Werthamer, I. Jukić, V. Naglić, & I. Krakan (Eds.), Zbornik radova 21. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša, Zagreb, 24 February 2023 (pp. 66–69). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Martinko, A., Mikša, A., & Krmpotić, M. (2022). Funkcionalne sposobnosti se razlikuju između rukometašica seniorske i juniorske dobi. In G. Leko (Ed.), Zbornik radova 30. ljetne škole kineziologa, Kineziologija u Europi, izazovi promjena, Zadar, 29 June–02 July 2022 (pp. 1111–1119). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
- Mikša, A., Martinko, A., & Milanović, D. (2022). Razlike vrhunskih rukometašica kadetske (U-15) i seniorske dobi u antropometrijskim karakteristikama. In G. Leko (Ed.), Zbornik radova 30. ljetne škole kineziologa, Kineziologija u Europi, izazovi promjena, Zadar, 29 June–02 July 2022 (pp. 1155–1162). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
- Mikša, A. (2022). Pokazatelji natjecateljskih izvedaba rukometaša pobjedničkih i poraženih ekipa u grupama A, B i C Europskog prvenstva 2022. godine. In L. Milanović, V. Werthamer, I. Jukić, & I. Krakan (Eds.), Zbornik radova 20. međunarodne konferencije

Kondicijska priprema sportaša, Zagreb, 18 February 2022 (pp. 406–409). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Mikša, A., Martinko, A., & Milanović, D. (2022). Metodološki pristup personaliziranom kondicijskom treningu vrhunskih rukometašica. In L. Milanović, V. Werthaimer, I. Jukić, & I. Krakan (Eds.), *Zbornik radova 20. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša*, Zagreb, 18 February 2022 (pp. 140–146). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Mikša, A., Milanović, M., & Jerak, T. (2019). Standard performance indicators as factors of men's team performance at the 2019 World Handball Championship. In 9th International Scientific Conference on Kinesiology (p. 798).

Jakop, I., Mikša, A., & Plevnik, A. (2019). Analiza parametara situacijske efikasnosti u ligi A grupe 4 Lige nacija u 2018. godine. In V. Findak (Ed.), *Zbornik radova 28. ljetne škole kineziologa RH Odgovor kineziologije na suvremeni način života*, Poreč, 26–29 June 2019 (pp. 573–579). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.

Jakop, I., Mikša, A., & Milanović, L. (2019). Promjene u kondicijskim obilježjima rukometaša u dobi od 12 godina u pripremnom periodu. In L. Milanović, V. Werthaimer, & I. Jukić (Eds.), *Zbornik radova 17. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša*, Zagreb, 22–23 February 2019 (pp. 282–286). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Gotal, S., Mikša, A., & Milanović, L. (2018). The connection between the number of medals won at the world and European football championships of European countries and the number of inhabitants, country size and GDP. In M. Baić, W. Starosta, P. Drid, J. Konarski, T. Krističević, & N. Maksimović (Eds.), *Zbornik radova 14. međunarodne konferencije Sport Kinetics "Movement in Human Life and Health"*, Poreč, 24–27 June 2018 (pp. 246–250). Zagreb; Novi Sad: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Sveučilišta u Novom Sadu.

Jakop, I., Mikša, A., Jagić, T., & Andreić, E. (2018). Razlike u pokazateljima kondicijske pripremljenosti nogometaša kadeta petoga i trećega ranga natjecanja. In V. Babić (Ed.), *Zbornik radova 27. ljetne škole kineziologa RH Primjeri dobre prakse u područjima*

edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije, Poreč, 27–30 June 2018 (pp. 510–515). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.

Mikša, A., Jagić, T., & Jakop, I. (2018). Razlike u kondicijskim obilježjima tri skupine nogometaša različite dobi. In L. Milanović, V. Werthaimer, & I. Jukić (Eds.), *Zbornik radova 16. međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša, Zagreb, 23–24 February 2018* (pp. 96–99). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Mikša, A., Jakop, I., Jagić, T., & Andreić, E. (2018). Postoje li razlike između kadeta, juniora i seniora nogometaša trećega ranga natjecanja u pokazateljima kondicijske pripremljenosti? In V. Babić (Ed.), *Zbornik radova 27. ljetne škole kineziologa RH Primjeri dobre prakse u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije, Poreč, 27–30 June 2018* (pp. 546–551). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.