

Važnost volumena treninga u razvoju mišićne hipertrofije

Kotorac, Mihael

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Kinesiology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Kineziološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:265:484368>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Kinesiology Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Kineziološki fakultet Osijek

Prijediplomski sveučilišni studij Kineziologija

Mihael Kotorac

**VAŽNOST VOLUMENA TRENINGA U RAZVOJU MIŠIĆNE
HIPERTROFIJE**

Završni rad

Osijek, 2024.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Kineziološki fakultet Osijek
Prijediplomski sveučilišni studij Kineziologija

Mihael Kotorac

**VAŽNOST VOLUMENA TRENINGA U RAZVOJU MIŠIĆNE
HIPERTROFIJE**

Završni rad

JMBAG: 0111130024

e- mail: mkotorac@kifos.hr

Mentor: doc. dr. sc. Mijo Ćurić

Sumentor: Sara Aščić, mag.cin.

Osijek, 2024.

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Kinesiology Osijek
University undergraduate study of Kinesiology

Mihael Kotorac

**ROLE AND IMPORTANCE OF TRAINING VOLUME IN THE
DEVELOPMENT OF MUSCLE HYPERTROPHY**

Undergraduate thesis

Osijek, 2024.

IZJAVA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI,
SUGLASNOSTI ZA OBJAVU U INSTITUCIJSKIM REPOZITORIJIMA
I ISTOVJETNOSTI DIGITALNE I TISKANE VERZIJE RADA

1. Kojom izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat osobnoga rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu. Potvrđujem poštivanje nepovredivosti autorstva te točno citiranje radova drugih autora i referiranje na njih.
2. Kojom izjavljujem da sam suglasan/suglasna da se trajno pohrani i objavi moj rad u institucijskom digitalnom repozitoriju Kineziološkog fakulteta Osijek, repozitoriju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku te javno dostupnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju „Narodne novine“ broj 123/03., 198/03., 105/04., 174/04., 2/07.-Odluka USRH, 46/07., 63/11., 94/13., 139/13., 101/14.-Odluka USRH, 60/15.-Odluka USRH i 131/17.).
3. Izjavljujem da sam autor/autorica predanog rada i da je sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti istovjetan sa dovršenom tiskanom verzijom rada predanom u svrhu obrane istog.

Ime i prezime studenta/studentice: Mihael Kotorac

JMBAG: 0111130024

Službeni e-mail: mkotorac@kios.hr

Naziv studija: Sveučilišni prijediplomski studij Kineziologija

Naslov rada: Važnost volumena treninga u razvoju mišićne hipertrofije

Mentor/mentorica završnog / diplomskog rada: doc. dr. sc. Mijo Ćurić

Sumentor: Sara Aščić, mag.cin

U Osijeku, 2024 godine

Potpis _____

Kotorac

Važnost volumena treninga u razvoju mišićne hipertrofije

SAŽETAK

Trening s otporom dokazano je učinkovit u povećanju mišićne mase kod ljudi. Mišićna hipertrofija, koja se očituje povećanjem poprečnog presjeka mišićnih vlakana, predstavlja kronično stanje. Iako nisu potpuno razjašnjeni svi mehanizmi koji pokreću procese hipertrofije, pretpostavlja se da metabolički stres, mehanička napetost i mišićno oštećenje imaju važnu ulogu. Programi treninga s opterećenjem uključuju različite varijable poput volumena, intenziteta, frekvencije, intenziteta napora, intervala odmora i trajanja ponavljanja. Pravilnim podešavanjem ovih parametara može se značajno utjecati na dugoročne adaptacije mišićnog sustava. Ovaj rad detaljno analizira utjecaj svake od navedenih varijabli na mišićnu hipertrofiju.

Ključne riječi: Trening s otporom, intenzitet, mehanička napetost, mišićno oštećenje

Role and importance of training volume in the development of muscle hypertrophy

ABSTRACT

Resistance training has been proven effective in increasing muscle mass in humans. Muscle hypertrophy, characterized by an increase in the cross-sectional area of muscle fibers, represents a chronic condition. Although all mechanisms triggering hypertrophy processes are not entirely understood, it is assumed that metabolic stress, mechanical tension, and muscle damage play important roles. Resistance training programs include various variables such as volume, intensity, frequency, effort intensity, rest intervals, and repetition duration. Proper adjustment of these parameters can significantly influence long-term adaptations of the muscular system. This paper thoroughly analyzes the impact of each of these variables on muscle hypertrophy.

Keywords: Resistance training, intensity, mechanical tension, muscle damage

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ADAPTACIJSKI PROCES TIJEKOM NASTANKA HIPERTROFIJE	3
3. MEHANIZMI NASTANKA MIŠIĆNE HIPERTROFIJE	4
4. VAŽNOST VOLUMENA TRENINGA U RAZVOJU MIŠIĆNE HIPERTROFIJE	5
4.1. Volumen.....	5
4.2. Opterećenje.....	10
4.3. Intenzitet napora.....	13
4.4. Frekvencija	15
4.5. Interval odmora	19
4.6. Trajanje ponavljanja.....	21
5. ZAKLJUČAK	25
6. LITERATURA	26
7. ŽIVOTOPIS	33
8. PRILOG (dokaz o provjeri izvornosti).....	34

1. UVOD

Harasin (2003) ističe da je gravitacijska sila Zemlje, odnosno težina vlastitog ili vanjskog tereta, jedan od najstarijih načina opterećivanja vježbača. Treening s opterećenjem osnovna je metoda za povećanje mišićne masu kod opće populacije. Također, treening s opterećenjem uspješno smanjuje rizike od kardiovaskularnih bolesti, smrtnosti i razvoja dijabetesa tipa II (Schoenfeld, 2021).

Jedan od glavnih ciljeva pojedinaca koji se bave treeningom s opterećenjem često je postizanje mišićne hipertrofije, odnosno povećanje mišićne mase i snage. Kako bi se postigle optimalne neuro-mišićne prilagodbe, važno je pravilno manipulirati različitim trenažnim parametrima, uključujući volumen, intenzitet, frekvenciju, intervale odmora, intervale napora i trajanje ponavljanja (Schoenfeld, 2021).

Mišićna hipertrofija događa se kao rezultat mehanotransdukcije, procesa koji pretvara mehaničke sile u biokemijske signale unutar sarkoleme mišića. Ovi signali pokreću anaboličke ili kataboličke procese. Kada je mehaničko opterećenje dovoljno visoko, anabolički procesi nadmašuju kataboličke, što dovodi do povećane sinteze proteina u mišićima i, na kraju, rasta mišića (Schoenfeld, 2020).

Mišićna hipertrofija dovodi do povećanja poprečnog presjeka mišićnih vlakana (MacDougall i sur., 1984; Sale i sur., 1987, prema Earle i Beachle, 2000). Ključno je razlikovati dva osnovna tipa hipertrofije mišića: miofibrilarnu i sarkoplazmatsku hipertrofiju. Sarkoplazmatska hipertrofija karakterizira se povećanjem poprečnog presjeka mišićnog vlakna uz smanjenje gustoće miofibrila unutar vlakna. S druge strane, miofibrilarna hipertrofija uključuje povećanje veličine i broja miofibrila, što značajno doprinosi povećanju snage i izdržljivosti (Zatsiorsky, 1995; Siff i Verkoshansky, 1998).

Iako još uvijek nije potpuno jasno koji je glavni mehanizam odgovoran za izazivanje hipertrofije, prepoznata su tri ključna senzora koja mogu potaknuti hipertrofijske procese: mehanička napetost, mišićno oštećenje i metabolički stres (Weckerhage i sur., 2018). Mehanička napetost predstavlja ključni faktor u pokretanju anaboličkih procesa. Prevladavanje mehaničke sile aktivira anaboličke signalne puteve, koji su esencijalni za stimulaciju sinteze proteina u mišićima (Schoenfeld, 2021).

Jedan od signalnih puteva koji su ključni u regulaciji sinteze proteina u mišićima je mTOR (eng. *mechanistic target of rapamycin*), koji se smatra centralnim regulatorom u tom procesu (Weckerhage i sur. 2018). Metabolički stres je fiziološki odgovor na intenzivno fizičko opterećenje, što rezultira snižavanjem pH vrijednosti u mišićima i nakupljanjem metabolita poput laktata i vodikovih iona unutar mišićnih stanica (Weckerhage i sur., 2018). Mišićno oštećenje (eng. *exercise induced muscle damage* ; EIMD) nastaje kao posljedica intenzivnog tjelesnog vježbanja. Ovaj fenomen obilježava oštećenje sarkoleme mišića, pri čemu se smatra da potiče anaboličke procese (Weckerhage i suradnici, 2018).

Cilj rada je analizirati kako trenažni parametri poput volumena, opterećenja, frekvencije, intenziteta napora, intervala odmora i trajanja ponavljanja utječu na postizanje maksimalne hipertrofije u treningu s otporom.

2. ADAPTACIJSKI PROCES TIJEKOM NASTANKA HIPERTROFIJE

Adaptacijski procesi koji dovode do mišićne hipertrofije kompleksni su i uključuju niz fizioloških, molekularnih i staničnih reakcija koje omogućavaju mišićima da se prilagode povećanom opterećenju. Ove adaptacije su odgovor na mehanički stres, metabolički stres i oštećenje mišićnih vlakana, koje zajedno stimuliraju rast i razvoj mišićnog tkiva (Schoenfeld, 2010). Satelitske stanice, smještene između bazalne lamine i sarkoleme mišićnih vlakana, igraju ključnu ulogu u rastu i regeneraciji mišića. Hawke i Garry (2001) ističu da se ove stanice aktiviraju nakon oštećenja mišića, proliferiraju i diferenciraju u nove mišićne stanice. Miogeni faktori, poput MyoD i Myogenina, reguliraju diferencijaciju i rast mišićnih stanica. Charge i Rudnicki (2004) pokazali su da su ovi faktori ključni za regeneraciju i hipertrofiju mišića. Signalni put mTOR je ključan u regulaciji mišićnog rasta. Stimulacija mTOR puta povećava sintezu proteina, a Drummond i sur. (2009) pokazali su da je aktivacija mTOR-a nužna za mišićnu hipertrofiju. MAPK (eng. *mitogen-activated protein kinases*) put regulira proliferaciju i diferencijaciju satelitskih stanica. Wretman i suradnici (2001) ističu da je aktivacija MAPK puta povezana s povećanom sintezom mišićnih proteina kao odgovor na mehanički stres. Ekspresija gena povezanih s mišićnom sintezom proteina povećava se kao odgovor na trening s opterećenjem. Phillips (2000) navodi da se geni za mišićne proteine poput mRNA za aktin i miozin povećavaju tijekom hipertrofije.

Hormoni također igraju ključnu ulogu u poticanju sinteze mišićnih proteina i inhibiciji proteolize. Bhasin i sur. (1996) pokazali su da suplementacija testosteronom povećava mišićnu masu i snagu. Hormon rasta i inzulinu sličan faktor rasta (eng. *insulin-like growth factor 1*, IGF-I) također doprinose mišićnom rastu. Velloso (2008) ističe da hormon rasta i IGF-1 stimuliraju anaboličke procese u mišićima.

Adekvatan unos proteina i esencijalnih aminokiselina, posebno leucina, ključan je za sintezu mišićnih proteina. Tipton i suradnici (2001) pokazali su da unos proteina nakon treninga povećava sintezu mišićnih proteina. Kalorijski suficit osigurava dovoljno energije za reparativne procese i rast mišićnog tkiva. Pasiakos i suradnici (2013) navode da povećan unos kalorija podržava mišićnu hipertrofiju tijekom treninga otpora. Ovi adaptacijski procesi omogućavaju mišićima da se prilagode povećanim fizičkim zahtjevima, rezultirajući povećanjem njihove mase i snage. Razumijevanje ovih procesa ključno je za optimizaciju trening programa i postizanje maksimalnih rezultata u povećanju mišićne mase (Pasiakos i sur., 2013).

3. MEHANIZMI NASTANKA MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Mehanička napetost, metabolički stres i oštećenje mišića ključni su faktori za poticanje hipertrofije. Kada mišići rade protiv otpora, dolazi do istežanja mišićnih vlakana, što aktivira signalne putove koji potiču sintezu proteina, pri čemu je mehanička napetost posebno važna za hipertrofiju mišića (Schoenfeld, 2010).

Mehanička tenzija ili napetost je primarni pokretač mišićne hipertrofije. Kada su mišići izloženi povećanom opterećenju, kao što je dizanje utega, dolazi do mikrooštećenja mišićnih vlakana. Ta mikrooštećenja aktiviraju niz signalnih puteva unutar mišićnih ćelija. Jedan od ključnih proteina u ovom procesu je mTOR, koji igra centralnu ulogu u regulaciji sinteze proteina. Aktivacija mTOR puta dovodi do povećane sinteze proteina, što rezultira povećanjem veličine mišićnih vlakana (Schoenfeld, 2010).

Metabolički stres također ima značajnu ulogu u mišićnoj hipertrofiji. Tijekom intenzivnog vježbanja, nakupljanje metabolita kao što su laktati, vodikovi ioni i fosfati može izazvati metabolički stres. Ovaj stres izaziva adaptivne odgovore u mišićnim ćelijama, uključujući povećanje sekrecije anaboličkih hormona kao što su hormon rasta i inzulinski faktor rasta. Ovi hormoni dodatno stimuliraju sintezu proteina i rast mišića (Fry, 2004). Treći ključni mehanizam je mišićno oštećenje. Tijekom intenzivnog treninga dolazi do oštećenja mišićnih vlakana, što aktivira satelitske ćelije.

Satelitske ćelije su specijalizirane ćelije koje se nalaze u blizini mišićnih vlakana i imaju ključnu ulogu u regeneraciji i rastu mišića. Kada su mišićna vlakna oštećena, satelitske ćelije se aktiviraju, množe i povezuju s postojećim mišićnim vlaknima, povećavajući njihovu masu. Ovaj proces je posebno važan za dugotrajni rast mišića i adaptaciju na kontinuirani trening (DeFreitas i sur., 2011).

4. VAŽNOST VOLUMENA TRENINGA U RAZVOJU MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

4.1. Volumen

Volumen treninga za mišićnu hipertrofiju obuhvaća sveukupnu količinu fizičkog napora koji se izvodi kroz broj ponavljanja, serija, vježbi, treninga ili perioda vremena (Israel et al., 2021). U suvremenim istraživanjima, trenažni volumen je dobio posebnu važnost te se smatra ključnim faktorom za postizanje mišićne hipertrofije. Iako je dobro poznato da trening s opterećenjem efikasno potiče povećanje mišićne mase, još uvijek nije potpuno razjašnjeno koliko točno treba biti optimalan volumen za postizanje maksimalne hipertrofije. Stoga, pravilno podešavanje trenažnog volumena može značajno utjecati na dugoročne prilagodbe poput mišićne hipertrofije.

Na primjer, istraživanje kojeg su proveli Burd i suradnici (2010) pokazalo je značajno povećanje sinteze mišićnog proteina nakon što su sudionici izveli tri serije opuštanja potkoljenice do mišićnog otkaza, u usporedbi s izvođenjem samo jedne serije. Također, istraživanje koje su proveli Krieger i suradnici (2018) utvrdili su da izvođenje više serija, u odnosu na samo jednu seriju, rezultira 40% većim rastom mišića.

Studija Radaella i suradnici (2015) istraživala je kako različiti trenažni volumeni utječu na mišićnu hipertrofiju. Tijekom šestomjesečnog istraživanja, sudionici su bili podijeljeni u tri grupe: prva grupa je izvodila samo jednu seriju po vježbi, druga grupa tri radne serije, dok je treća grupa izvodila ukupno pet radnih serija. Promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su ultrazvukom, grupe koje su provodile 3 i 5 radnih serija po vježbi tjedno značajno su povećale obujam pregibača podlaktice ($p < 0.05$) u usporedbi s grupom koja je izvodila samo jednu radnu seriju. Također, u grupi koja je izvodila pet radnih serija zabilježena je statistički značajna razlika u obujmu opružaca podlaktice u usporedbi s obje preostale grupe ($p < 0.05$). Ovi rezultati ukazuju da izvođenje većeg broja serija dovodi do većeg povećanja mišićne mase u odnosu na izvođenje samo jedne serije.

Kvantificiranje volumena treninga predstavlja glavni izazov u fitness praksi. Postoji nekoliko metoda za to, od kojih su najčešće korištene: ukupni rad (umnožak broja podignutog opterećenja i prijeđenog puta), ukupan broj radnih serija, ukupan broj podignutog opterećenja (umnožak broja serija, ponavljanja i opterećenja) te ukupan broj ponavljanja (umnožak broja serija i ponavljanja). Iako je metoda "ukupni rad" (sila x udaljenost) najpreciznija, često je nepraktična za primjenu na sve mišićne skupine.

Stoga se najčešće koristi metoda ukupno podignutog opterećenja (broj serija x ponavljanja x opterećenje) jer uključuje druge važne trenažne varijable (Valle i sur., 2018). Frekvencija treninga ima najveći utjecaj na ukupnu količinu treninga, ali i broj radnih serija po mišićnoj skupini (eng. *set volume*) igra značajnu ulogu. Kvantificiranje volumena putem ukupnog broja radnih serija je učinkovito kada se serije izvode od 6 do 20 ponavljanja do mišićnog otkaza, kako su istaknuli Valle i suradnici (2018). Novija literatura predlaže ukupan trenažni volumen od 12 do 20 radnih serija u tjednu, uz uvjet da se serije izvode do mišićnog otkaza (Valle i sur., 2022). Istraživanje koje su proveli Ostrowski i suradnici (1997) istraživalo je utjecaj različitog trenažnog volumena na mišićnu hipertrofiju kod iskusnih vježbača tijekom deset tjedana. Ispitanici su bili podijeljeni u tri skupine: niski volumen (3 - 7 serija u tjednu), srednji volumen (6 - 14 serija u tjednu) i visoki volumen (12 - 28 serija u tjednu). Iako su sve tri skupine postigle statistički značajno povećanje poprečnog presjeka mišića ($p < 0,05$), skupina s visokim volumenom pokazala je veći rast u mišićima opružaća podlaktice i opružaća koljena u usporedbi s ostalim skupinama.

U istraživanju Schoenfelda i suradnika (2019) analizirani su utjecaji različitih razina volumena treninga na mišićnu adaptaciju kod mladih muškaraca s iskustvom u treniranju. U istraživanju su sudjelovala 34 ispitanika, podijeljena u tri skupine: niski volumen (N-11), srednji volumen (N-12) i visoki volumen (N-11). Grupa s niskim volumenom imala je zadatak izvoditi jednu seriju po vježbi, grupa sa srednjim volumenom tri serije dok je grupa s visokim volumenom izvodila pet serija po vježbi. Ispitanici su izvodili vježbe s 8 do 12 ponavljanja, tri puta tjedno, tijekom osam tjedana. Mišićna hipertrofija mjerena je ultrazvukom na pregibačima i opružaćima podlaktice te opružaćima potkoljenice. Nakon osam tjedana, utvrđen je značajan rast fleksora podlaktice i ekstenzora potkoljenice u grupama sa srednjim i visokim volumenom u usporedbi s grupom niskog volumena. Kod opružaća podlaktice nisu pronađene statistički značajne razlike između testiranih grupa.

Rezultati ovakvog istraživanja potvrđuju odgovor (eng. *dose-response*) odnose između volumena treninga i mišićnog rasta. Međutim, trening s niskim volumenom ne treba zanemariti. Iako je manje učinkovit za mišićni rast, pokazalo se da treninzi koji traju samo 13 minuta (grupa s niskim volumenom) također mogu potaknuti mišićnu hipertrofiju, što je korisno za osobe s ograničenim vremenom za vježbanje.

U istraživanju Heaselgravea i suradnika (2018), sudjelovalo je 49 muškaraca s iskustvom u treniranju podijeljenih u tri grupe. Skupina niskog volumena (9 serija tjedno) imala je 17 ispitanika, skupina srednjeg volumena (18 serija tjedno) imala je 15 ispitanika, dok je skupina visokog volumena (27 serija tjedno) također imala 17 ispitanika. Tijekom šestotjednog protokola, ispitanici su izvodili biceps pregib, a mišićna hipertrofija bicepsa (lat. *m. biceps brachii*) mjerena je ultrazvukom. Nakon šest tjedana treninga, sve tri skupine su zabilježile značajno povećanje poprečnog presjeka *m.biceps brachii* ($4.3 \pm 7.9\%$, $9.5 \pm 11.8\%$ i $5.4 \pm 6.3\%$ za grupu s niskim, srednjim i visokim volumenom, redom; $p > 0.05$). Međutim, nije bilo značajnih razlika između ovih skupina. Ovi rezultati sugeriraju da čak i nizak volumen treninga od 9 serija tjedno može biti dovoljan za postizanje značajnog mišićnog rasta, prekomjerno visok volumen treninga od 29 serija tjedno može dovesti do pretreniranosti, što može ograničiti optimalan mišićni napredak.

Prema meta analizi Schoenfelda i suradnika (2017), veći volumen treninga dovodi do veće mišićne hipertrofije. Uočeno je da manje od 5 serija tjedno rezultira povećanjem od 5.4%, 5-9 serija povećanjem od 6.6%, dok više od 10 serija tjedno donosi povećanje od 9.8%. Ovi podaci sugeriraju da je volumen ključni faktor za mišićni rast. Međutim, još uvijek nije potpuno jasno kakav učinak ima volumen veći od 10 serija u tjednu, što je gornja granica korisnog volumena. Iako je "dose-response" odnos između mišićne hipertrofije i volumena potvrđen, postoje granice nakon koje dodatni volumen ne pridonosi dodatnom mišićnom rastu i može dovesti do pretreniranosti.

Važno je napomenuti da su istraživanja volumena na mišićni rast obuhvatila samo nekoliko mišićnih skupina, što znači da se rezultati za mišiće nogu, na primjer, ne mogu nužno primijeniti na cijelu muskulaturu (Schoenfeld, 2021). Unatoč tome što se trenažni volumen na tjednoj razini temeljito istražuje, volumen po jednom treningu ili vježbi još uvijek nije dovoljno istražen. Prema trenutnim preporukama, volumen po pojedinoj vježbi trebao bi se kretati između 2 do 6 radnih serija. Početnicima se preporuča treniranje s manjim brojem serija, dok se naprednijim vježbačima preporuča trening s većim brojem serija unutar navedenog raspona. Pri odabiru volumena za pojedinu vježbu važno je uzeti u obzir i broj planiranih vježbi za određenu mišićnu skupinu. Za pojedinačni trening, preporučuje se izvoditi 6 - 8 serija po pojedinoj mišićnoj skupini za početnike u treningu, dok se za naprednije vježbače taj raspon povećava od 10 - 12 serija.

Važno je istaknuti da su preporuke temeljene na prosječnim rezultatima istraživanja i da optimalan volumen može varirati ovisno o individualnim karakteristikama osobe, kao i o intenzitetu svake pojedinačne serije (Kreamer i sur., 2004).

Trening s otporom fokusiran na gornji dio tijela često uključuje visok volumen, što obično znači izvođenje više od 3 radne serije po mišićnoj skupini. Zanimljivo je da iskusniji vježbači, uključujući profesionalne bodybuildere, često preferiraju treninge s vrlo visokim volumenom koji varira od 6 do 20 radnih serija po mišićnoj skupini u pojedinačnom treningu, pa čak i od 30 do 49 ukupnih serija unutar jednog treninga (Hackett i sur., 2013). Takva velika količina volumena unutar jednog treninga nije podržana znanstvenim dokazima i veoma je upitna. Većina literature preporučuje treninge visokog volumena za postizanje optimalne mišićne hipertrofije, no važno je napomenuti da donji dio tijela vjerojatno zahtijeva veći volumen u odnosu na gornji dio tijela. Hanssen i suradnici (2013) su istraživali utjecaj treninga na broj satelitskih stanica u mišiću *m.quadriceps femoris* tijekom 11 tjedana. Grupa koja je izvodila 18 serija po mišićnoj skupini tjedno pokazala je povećanje broja satelitskih stanica u usporedbi s grupom koja je izvodila 6 serija tjedno. Zanimljivo je da ovakvi rezultati nisu primijećeni za gornji dio tijela, što potvrđuju i druga istraživanja (Ronnestad i sur., 2007). Jedno moguće objašnjenje je da trening s većim volumenom može imati veći utjecaj na hipertrofiju mišića nogu u usporedbi s mišićima gornjeg dijela tijela.

U istraživanju koje je usporedilo učinke rutina sa samo jednom serijom i višeserijske rutine na izolirani gornji i donji dio tijela, primijećena je značajna prednost većeg volumena za donji dio tijela (11% povećanje u odnosu na 7%), dok za gornji dio tijela nisu uočene značajne razlike. U istraživanju koje su proveli Ronnestad i suradnici (2007), sudjelovao je 21 ispitanik bez prethodnog iskustva s treningom, a cilj istraživanja je bio istražiti kako različiti trenažni volumeni utječu na mišićni rast. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije grupe: prva grupa (N-10) izvodila je 3 serije po vježbi za gornji dio tijela i 1 seriju za donji dio tijela, dok je druga grupa (N-11) izvodila 3 serije po vježbi za gornji dio tijela i 1 seriju po vježbi za donji dio tijela.

Treninzi su se sastojali od 8 različitih vježbi koje su izvođene tri puta tjedno, uz izjednačen trenažni volumen između dviju grupa. Protokol je trajao ukupno 11 tjedana, te je ispitanicima inicijalni i finalni sastav tijela mjereno magnetskom rezonancijom.

Rezultati su pokazali statistički značajno veće povećanje mišićne mase potkoljenice u grupi koja je izvodila 3 serije po vježbi za donji dio tijela (11% naspram 7%, $p=0,01$).

Za mišić trapezius (lat. *m. trapezius*) na gornjem dijelu tijela nije bilo utvrđene statistički značajne razlike između dviju grupa. Ovo istraživanje ukazuje na potrebu za većim trenažnim volumenom u mišićima donjeg dijela tijela u usporedbi s mišićima gornjeg dijela tijela kako bi se postigla maksimalna hipertrofija.

Istraživanje koje su proveli Hammarstrom i suradnici (2019) proučavalo je različite reakcije netreniranih ispitanika na različite razine trenažnog volumena. Tijekom 12 tjedana, jedna skupina ispitanika izvodila je 15 radnih serija za jednu nogu, dok je druga skupina izvodila samo 5 radnih serija za istu nogu. Ova studija istaknula je kako varijacija trenažnog volumena može značajno utjecati na adaptaciju mišića kod osoba koje nisu imale prethodnog iskustva s vježbanjem. Po završetku istraživanja, 44% sudionika pokazalo je značajno veći mišićni rast opružaća potkoljenice uz veći trenažni volumen, dok je 9% postiglo veći rast s manjim volumenom. Zanimljivo je da je čak 47% ispitanika ostvarilo podjednake rezultate za obje noge. Ovi nalazi ističu važnost prilagođavanja treninga prema individualnim potrebama i odgovorima tijela. U istraživanju koje su proveli Scarpelli i suradnici (2020), uočena je statistički značajna mišićna hipertrofija nakon što su ispitanici samostalno povećali svoj trenažni volumen za 20%. To jasno pokazuje da je prilagođavanje treninga prema individualnim potrebama izuzetno važno u postizanju mišićne hipertrofije.

Za optimalnu mišićnu hipertrofiju preporučuje se trening visokog volumena jer stimulira mehaničku napetost, metabolički stres i mišićno oštećenje. Svi gore navedeni mehanizmi imaju ključnu ulogu u pokretanju anaboličkih procesa koji potiču rast mišića (Helms i sur., 2014).

Na temelju navedenog preporučuje se :

- Postavljanje ukupnog trenažnog volumena u rasponu od 12 - 20 serija tjedno po mišićnoj skupini.
- Za volumen po pojedinoj vježbi, preporučuje se održavanje raspona od 2 - 6 serija, prilagođeno individualnom trenažnom iskustvu.
- Trenažni volumen po pojedinačnom treningu može varirati od 6 - 12 serija, uz prilagodbu prema iskustvu i učestalosti treninga.
- Napredniji vježbači mogu razmotriti povećanje volumena za specifične manje mišićne skupine i premašiti 20 serija tjedno, ali je bitno paziti na ravnotežu i smanjiti volumen za druge mišićne skupine.

- Uvrstiti periode s nižim trenažnim volumenom u program kako bi se omogućio adekvatan oporavak mišića.

4.2. Opterećenje

Intenzitet treninga mišićne hipertrofije važan je faktor koji se često izvodi kao postotak od 1RM (eng. *one-repetition maximum*), što predstavlja najveće opterećenje koje osoba može podići jednom. Na primjer, ako je nečije 1RM za bench press 100 kilograma, a trenira s opterećenjem od 70 kilograma, to bi značilo da trenira s opterećenjem koje iznosi 70% od 1RM. Opterećenja se mogu klasificirati unutar tri različita raspona: teška opterećenja od 1RM do 5RM, srednja opterećenja su od 6RM do 15RM, dok se sve iznad 15RM smatra laganim opterećenjem (Schoenfeld, 2020). Također, važno je spomenuti Hennemanov princip veličine (eng. *Henneman's size principle*) u kontekstu regrutacije motoričkih jedinica. Prema ovom principu, veće motoričke jedinice se aktiviraju s porastom zahtjeva za generiranjem sila, što može rezultirati aktivacijom motoričkih mišićnih jedinica (Mikulić i Marković, 2016).

Postoje mnogobrojne formule koje se koriste za procjenu 1RM-a u različitim vježbama, ali njihova točnost može varirati zbog kombinacije genetike i specifičnosti vježbe. Preciznost formula posebno opada kako se opterećenje smanjuje (Schoenfeld, 2021). U istraživanju Hoegera i suradnika (1987), primijećene su značajne varijabilnosti u broju maksimalnih ponavljanja pri istom opterećenju. Na primjer, u vježbama poput bench pressa, *lat pulldowna* i *leg extensiona*, sudionici su prosječno izveli 10 ponavljanja s opterećenjem od 80% 1RM-a, dok su za *leg curl* i *forearm curl* prosječno izveli od 6 do 8 ponavljanja. U leg pressu, prosječan broj ponavljanja bio je 15.

U drugom istraživanju Schoenfelda i suradnika (2014), sudionici su izvodili maksimalan broj ponavljanja u leg press vježbi. S otporom od 75% 1RM-a, broj ponavljanja varirao je između 7 i 24, dok je s opterećenjem od 30% 1RM-a raspon bio od 30 do čak 71 ponavljanja. Doziranje opterećenja povezano je s kontinuumom ponavljanja koji se koristi za postizanje različitih ciljeva u treningu mišićne adaptacije. Na primjer, za razvoj maksimalne mišićne snage preporučuje se izvođenje 1 do 5 ponavljanja s opterećenjem od 80 do 100% maksimalnog opterećenja koje osoba može podići jednom.

Za poticanje mišićne hipertrofije preporučuje se raditi 8 do 12 ponavljanja s opterećenjem od 60 do 80% 1RM-a. S druge strane, za razvoj mišićne izdržljivosti preporučuje se izvođenje više od 15 ponavljanja s opterećenjem manjim od 60% 1RM-a.

Iako je ovaj model kontinuuma ponavljanja bio popularan od 1980-ih godina, nova istraživanja naglašavaju kompleksnost utjecaja ponavljanja na mišićne adaptacije (Vieira, 2021). U svojem sustavnom pregledu Wernbom i suradnici (2007) zaključili su da se maksimalna mišićna hipertrofija postiže korištenjem srednje teških opterećenja. Prema njihovoj hipotezi, srednje teška opterećenja omogućuju postizanje optimalne razine mehaničke napetosti i metaboličkog stresa, što su ključni faktori za poticanje rasta mišića. Primjerice, iako teška opterećenja stvaraju veću mehaničku napetost, serije s visokim opterećenjem obično traju kratko, manje od 15 sekundi. To dovodi do manjka metaboličkog stresa jer se ATP obnavlja uglavnom putem kreatin-fosfatnog sustava, dok je anaerobna glikoliza minimalna, što rezultira niskom akumulacijom metabolita.

Suprotno tome, niska opterećenja generiraju visok metabolički stres, ali ne stimuliraju sve motorne jedinice, što može negativno utjecati na rast mišića. S druge strane, srednje teška opterećenja smatraju se optimalnima jer omogućuju visoku razinu mehaničke tenzije i metaboličkog stresa. Serije sa srednje teškim opterećenjem obično traju 20 do 40 sekundi, što zahtijeva aktivnost anaerobne glikolize. Zbog ovih razloga, srednje teška opterećenja često se nazivaju "bodybuilding raspon ponavljanja" (Schoenfeld, 2021).

U istraživanju Kuba i suradnika (2020), sudionici su podijeljeni u četiri skupine radi istraživanja utjecaja različitog broja ponavljanja na hipertrofiju mišića. Skupina s visokim opterećenjem (4RM) uključivala je 10 sudionika, skupina sa srednje teškim opterećenjem (8RM) sastojala se od 12 sudionika, dok je skupina s nižim opterećenjem (12RM) imala 10 sudionika. Četvrta, kontrolna skupina također je brojala 10 sudionika. Treninzi su se održavali dvaput tjedno tijekom 10 tjedana, pri čemu je trenažni volumen bio izjednačen među skupinama. Na kraju intervencije, nije bilo statistički značajnih razlika u hipertrofiji *m. pectoralis major* među skupinama. Niža opterećenja, što uključuje veći broj ponavljanja, mogu dovesti do jednakog mišićnog rasta kao i srednje teška opterećenja, pod osnovnim uvjetom da se radne serije izvode vrlo intenzivno, tj. do mišićnog otkaza ili blizu njega. Prema rezultatima sustavnog pregleda Viere i suradnika (2021), nije bilo uočenih statistički značajnih razlika u mišićnom rastu između niskih, srednjih i teških opterećenja. Neki istraživači sugeriraju da trening s nižim opterećenjem može više poticati hipertrofiju mišićnih vlakana tipa I, dok veća opterećenja preferiraju hipertrofiju mišićnih vlakana tipa II.

Međutim, istraživanje Schoenfelda i suradnika (2020) pokazalo je da i teška i laka opterećenja uzrokuju sličan mišićni rast u mišićima poput *m. soleus*, koji je pretežno sastavljen od sporih mišićnih vlakana, te u *m. gastrocnemius*, koji sadrži kombinaciju brzih i sporih mišićnih vlakana. Meta-analiza Grgića (2020) zaključila je da ne postoji značajna razlika u hipertrofiji mišićnih vlakana tipa I i II ovisno o korištenju lakih ili teških opterećenja.

Prema sustavnom pregledu istraživanja koje je proveo Lopez (2020), uključujući 28 studija s više od 700 ispitanika, nije pronađena statistički značajna razlika u mišićnoj hipertrofiji između grupa koje su koristile niska, srednja ili visoka opterećenja (P-vrijednosti su varirale između (0.113 i 0.469). Ovi nalazi ukazuju na to da razina opterećenja nije ključni faktor za postizanje mišićne hipertrofije, pod uvjetom da su serije vježbi izvedene do potpunog mišićnog otkaza.

U istraživanju Laseviciusa i suradnika (2019), koje je analiziralo utjecaj velikih i malih opterećenja na mišićnu hipertrofiju, nakon osam tjedana sve ispitane grupe su zabilježile statistički značajan porast poprečnog presjeka mišića, osim grupe koja je koristila niska opterećenja, ali nije izvodila serije do mišićnog otkaza. Ovi nalazi sugeriraju da je intenzitet napora ključan faktor kada se primjenjuju niska opterećenja u programu treninga za mišićnu hipertrofiju. Također je primijećeno da serije s visokim opterećenjem ne moraju biti nužno izvedene do mišićnog otkaza kako bi se postigla hipertrofija mišića.

U istraživanju koje su proveli Mitchell i suradnici (2012), 18 mladih muškaraca s prethodnim iskustvom u treningu nasumično su podijeljeni u jedan od tri različita trening protokola. Prvi protokol uključivao je izvođenje 3 serije unilateralne ekstenzije koljena s opterećenjem od 30% maksimalnog opterećenja za jedno ponavljanje (1RM). Drugi protokol obuhvaćao je 3 serije iste vježbe s opterećenjem od 80% 1RM, dok se treći protokol sastojao od samo 1 serije s opterećenjem od 80% 1RM. Tijekom 10 tjedana, ispitanici su trenirali tri puta tjedno. Na kraju istraživanja, nije bilo statistički značajnih razlika u povećanju mišićne debljine *m. vastus lateralis* između navedenih grupa. U istraživanju koje su proveli Schoenfeld i suradnici (2015), istraživali su utjecaj niskog i visokog opterećenja na mišićnu hipertrofiju među osamnaest mladih muškaraca s prethodnim iskustvom u treningu.

Ispitanici su podijeljeni u dvije grupe prema rasponu ponavljanja u vježbama: jedna grupa izvodila je vježbe s 25 do 35 ponavljanja, dok je druga grupa radila s 8 do 12 ponavljanja. Tijekom osam tjedana, tri puta tjedno, izvodili su sedam različitih vježbi za cijelo tijelo.

Na kraju istraživanja, obje grupe su zabilježile statistički značajan porast poprečnog presjeka mišića opružaća podlaktice, pregibača podlaktice i opružaća potkoljenice, pri čemu nije bilo značajnih razlika između njih. Ovi rezultati ukazuju da i niska i visoka opterećenja mogu biti jednako učinkovita u poticanju mišićne hipertrofije, pod uvjetom da se serije izvode s visokim intenzitetom napora.

U istraživanju koje su proveli Schoenfeld i suradnici (2014) godine, nije pronađena statistički značajna razlika u mišićnoj hipertrofiji između grupe koja je trenirala s visokim opterećenjem (93% 1RM) i grupom koja je trenirala s niskim opterećenjem (67% 1RM). Ovi nalazi sugeriraju da visoko opterećenje nije nužno ključno za postizanje mišićne hipertrofije u usporedbi s nižim opterećenjem. Moguće objašnjenje za ove nalaze može biti činjenica da je grupa s niskim opterećenjem možda postigla značajniji metabolički stres tijekom treninga. Taj metabolički stres može imati važnu ulogu u poticanju mišićne adaptacije, čak i bez visoke mehaničke napetosti koja je karakteristična za trening s visokim opterećenjem.

Na temelju analiziranog istraživanja, preporuke su sljedeće:

- Preporučuje se uključivanje širokog spektra ponavljanja, od 1RM do 30RM, uključujući niska i visoka opterećenja.
- Kod korištenja nižih opterećenja, važno je osigurati da se serije izvode do ili blizu mišićnog otkaza kako bi se postigao potreban metabolički stres za poticanje mišićne hipertrofije.

4.3. Intenzitet napora

Intenzitet napora u treningu s otporom odnosi se na razinu napora koju osoba osjeća tijekom vježbanja. Obično se ocjenjuje subjektivno, koristeći RPE ljestvicu (eng. *Rate of Perceived Exertion*) koja se kreće od 1 do 10, ili prema broju preostalih ponavljanja koje osoba procjenjuje da može izvesti na kraju serije (Schoenfeld, 2021).

Za postizanje maksimalnih neuromuskularnih prilagodbi često se sugerira treniranje do mišićnog otkaza, premda je nužnost ovog pristupa još uvijek predmet znanstvenih rasprava. Smatra se da trening blizu mišićnog otkaza (1 do 2 ponavljanja u rezervi) može pružiti optimalnu stimulaciju čak i za iskusne vježbače. Glavni razlog za preporuku treninga do mišićnog otkaza je maksimalna aktivacija motoričkih jedinica, što je ključno za poticanje mišićne hipertrofije.

Trening do mišićnog otkaza također može rezultirati značajnim metaboličkim stresom. Čak i pri vrlo niskim opterećenjima (30% 1RM), serija izvedena do mišićnog otkaza može aktivirati sve motoričke jedinice. Stoga, intenzitet napora igra ključnu ulogu u učinkovitosti manjih opterećenja. Nadalje, što je veći intenzitet prema mišićnom otkazu, to je i veća elektromiografska aktivacija mišića agonista (Schoenfeld, 2021).

Postoje različita stajališta o potrebi treniranja do mišićnog otkaza kako bi se postigla potpuna aktivacija svih motoričkih jedinica mišića. Neka istraživanja su pokazala da trening do mišićnog otkaza nije nužno ključan za postizanje maksimalne mišićne hipertrofije. Nasuprot tome, druga istraživanja sugeriraju da trening do potpunog mišićnog otkaza može imati negativne posljedice na mišićni rast, posebno kod vježbača početnika (Vieira i suradnici, 2020). U radu Gota i suradnika (2005), primijećeno je da su ispitanici koji su izvodili serije do mišićnog otkaza postigli veću mišićnu hipertrofiju u usporedbi s onima koji su u sredini serija imali pauzu od 30 sekundi. Iako uvođenje pauze u sredini serije nije tradicionalan pristup u treningu s otporom, rezultati istraživanja ukazuju na to da izbjegavanje treninga do mišićnog otkaza može imati nepovoljan utjecaj na rast mišića. U istraživanju Martorellia i suradnika (2017), grupa žena koje su izvodile biceps pregib do potpunog mišićnog otkaza postigle su značajno veći rast mišića pregibača podlaktice (17.5%) u usporedbi s grupom koje je stala s nekoliko ponavljanja prije mišićnog otkaza (8.5%).

Prema sustavnom pregledu i meta-analizi Vieire i suradnika (2020), trening do mišićnog otkaza rezultira sličnom mišićnom hipertrofijom kao i trening koji ne ide do mišićnog otkaza (nekoliko ponavljanja prije otkaza). Također, primijećen je potencijalni beneficij treninga do mišićnog otkaza kod osoba s iskustvom u treningu. U nedavnom sustavnom pregledu (Vieira i suradnici, 2021), primijećeno je da postoji korist od treninga koji uključuje treniranje do mišićnog otkaza kada se volumen treninga razlikuje među istraživačkim skupinama. Međutim, kada je volumen treninga bio jednako raspoređen između skupina, nije bilo statistički značajnih razlika u rezultatima između grupa koje su izvodile trening do mišićnog otkaza i onih koje nisu.

Preporuke se mogu prilagoditi kako slijedi:

- Za svaku radnu seriju, potrebno je približiti se mišićnom otkazu (1 - 2 ponavljanja).
- Kod izolacijskih vježbi koje su sigurne za izvođenje, razmotriti implementaciju treninga do mišićnog otkaza.

- Kod osnovnih vježbi, preporučljivo je ostaviti nekoliko ponavljanja u rezervi na kraju svake serije radi očuvanja sigurnosti i optimalne izvedbe.

4.4. Frekvencija

Frekvencija treninga označava ukupan broj odrađenih treninga unutar određenog vremenskog perioda, najčešće tjedno. U kontekstu razvoja mišićne mase, frekvencija treninga odnosi se na koliko često se određena mišićna skupina stimulira tijekom tjedna. Promjena u frekvenciji može značajno utjecati na ukupni obujam treninga koji se izvodi tijekom određenog vremenskog perioda.

U bodybuildingu je popularan pristup treningu s visokim volumenom i nižom frekvencijom, što znači da se svaka mišićna skupina obično trenira jednom tjedno (Schoenfeld, 2021). Prema istraživanju Hacketta i suradnika (2013), većina profesionalnih bodybuildera trenira svaku skupinu mišića samo jednom tjedno koristeći tzv. "brosplit" rutinu (treniranje iste mišićne skupine). Nijedan od sudionika nije izvijestio da trenira istu mišićnu skupinu više od dva puta tjedno ili da primjenjuje trening cijelog tijela. Povećanje frekvencije treninga, odnosno raspodjela trenažnog volumena na više manjih treninga, može biti učinkovita strategija. Prilagođavanjem frekvencije treninga moguće je značajno utjecati na ukupni obujam treninga unutar određenog razdoblja. U svijetu bodybuildinga, popularan je pristup s visokim volumenom i niskom frekvencijom, gdje se svaka mišićna skupina trenira jednom u tjednu (Schoenfeld, 2021).

Frekvencija treninga je ključan faktor u organizaciji trenažnog volumena. Povećanjem frekvencije treninga moguće je značajno povećati ukupni trenažni volumen, pod uvjetom da se volumen pojedinačnog treninga održava na konstantnoj razini. To znači da raspodjela trenažnog volumena na više treninga tijekom tjedna može doprinijeti većoj ukupnoj količini stimulacije mišića, što može biti korisno za napredak i razvoj mišićne mase (Schoenfeld, 2021). Čak i kada se određeni trenažni volumen raspodijeli na više treninga, postoji mogućnost da će se taj volumen odraditi s manje nakupljenog umora. Bitno je uočiti da je frekvencija treninga usko povezana s ukupnim volumenom koji se izvodi u pojedinačnom treningu.

Na primjer, trening visokog volumena često zahtijeva nižu frekvenciju tijekom tjedna kako bi se osigurala adekvatna oporavka između treninga. S druge strane, trening niskog volumena može se izvoditi s većom frekvencijom, što može doprinijeti češćoj stimulaciji mišića i potencijalnom poboljšanju napretka (Helms i sur., 2014).

Opća smjernica za trening mišićne hipertrofije je da se odmori najmanje 48 sati prije ponovne stimulacije iste mišićne skupine, posebno ako je trening obuhvatio visok trenažni volumen. Sinteza proteina u mišićima može ostati povećana i do 48 sati nakon treninga s otporom, a u nekim slučajevima i do 72 sata. Treniranje prije potpunog oporavka mišićne skupine može značajno smanjiti sintezu proteina u mišićima. Frekvencija treninga također može značajno utjecati na količinu oštećenja mišićnih vlakana. Nakon treninga visokog volumena, važno je osigurati između 48 i 72 sata odmora kako bi se mišićna skupina pravilno oporavila, što uključuje regeneraciju oštećenih mišićnih vlakana i postizanje željenih adaptacija (Schoenfeld, 2021).

U meta-analizi koju su proveli Schoenfeld i njegovi suradnici (2018), istraživana je izravan utjecaj visoke i niske frekvencije treninga na mišićnu hipertrofiju. Njihovi rezultati nisu pokazali značajne razlike između visoke i niske frekvencije treninga kada je trenažni volumen bio izjednačen, bez obzira na to koliko puta je mišićna skupina bila trenirana tjedno (1, 2, 3 ili 4 puta). Međutim, u slučajevima kada volumen nije bio izjednačen, uočene su značajne prednosti visoke frekvencije treninga, osobito do tri puta tjedno. Ovi rezultati sugeriraju da sama frekvencija treninga ne utječe znatno na mišićnu hipertrofiju. Međutim, manipulacija frekvencijom može značajno utjecati na ukupni trenažni volumen, koji je ključan faktor u poticanju mišićne hipertrofije. Raspodjela volumena kroz visoku frekvenciju postaje ključna kod treninga s visokim trenažnim opterećenjem.

Kao što je već naglašeno, maksimalni volumen radnih serija za određenu mišićnu skupinu obično iznosi oko 10 serija po pojedinačnom treningu. Stoga, ako osoba planira izvesti 20 radnih serija za određenu mišićnu skupinu tijekom tjedna, preporučljivo je podijeliti taj tjedni volumen na dva treninga, svaki s 10 radnih serija. Ovaj pristup može rezultirati kvalitetnijim trenažnim volumenom i značajnijim prilagodbama u usporedbi s jednim treningom koji obuhvaća 20 radnih serija.

Sve popularnije 'double-split' rutine, koje uključuju podjelu trenažnog volumena na jutarnji i večernji trening, često se koriste među bodybuilderima kako bi postigli maksimalan i kvalitetan trenažni volumen. Prema istraživanju Hakkinena i suradnika (1994), ova metoda je podržana rezultatima žena s iskustvom u treningu koje su provodile 'double-split' rutine kroz dva trenažna bloka, svaki je trajao tri tjedna. Prvi blok obuhvaćao je tri treninga tjedno, dok je drugi blok uključivao šest manjih treninga tjedno, uz izjednačeni ukupni volumen treninga."

Istraživanje Hakkinena i suradnika (1994) je pokazalo statistički značajnu prednost u poprečnom presjeku mišića kod primjene "double-split" rutine ($p < 0,05$), što sugerira da podjela treninga na dva manja dijela može povoljno utjecati na mišićni rast. S druge strane, istraživanje Hartmana i suradnika (2007) nije pronašlo statistički značajne razlike u mišićnom rastu između jednog treninga i podjele istog volumena na dva manja treninga, iako je primijećeno da je jedan trening možda rezultirao nešto većim rastom mišića. Važno je napomenuti da su oba istraživanja trajala relativno kratko, što može otežati donošenje konačnih zaključaka o dugoročnoj učinkovitosti ovih strategija. "Double-split" rutine mogu biti korisna strategija za trening mišićne hipertrofije, pogotovo ako se mogu prilagoditi individualnim potrebama i rasporedu treninga (Schoenfeld, 2021). Mnogi autori vjeruju da visoka frekvencija treninga s niskim volumenom može optimizirati mišićnu hipertrofiju jer omogućava kontinuirani anabolizam, posebno kod naprednijih vježbača koji možda ne doživljavaju istu razinu povećanja sinteze proteina u mišićima kao početnici.

Istraživanje Šarića i suradnika (2018) uspoređivalo je utjecaj visoke i niske frekvencije treninga na mišićnu hipertrofiju. Ispitanici su podijeljeni u dvije grupe: prva je grupa izvodila 4 serije treninga 3 puta tjedno, dok je druga grupa izvodila 2 serije treninga svaki dan tijekom 6 dana u tjednu. Oba protokola uključivala su različite vrste vježbi za opružaće podlaktice, koljena i pregibače podlaktice, pri čemu su svi ispitanici vježbali do mišićnog otkaza. Rezultati istraživanja su pokazali da su obje grupe postigle sličan stupanj mišićne hipertrofije u opružaćima podlaktice i koljena. Međutim, grupa koja je trenirala s nižom frekvencijom (2 serije dnevno, 6 dana tjedno) postigla je nešto veći rast u mišićima pregibača podlaktice u usporedbi s grupom koja je trenirala s višom frekvencijom (4 serije, 3 puta tjedno). S obzirom na postojanje ograničenja trenažnog volumena koji može efikasno potaknuti mišićni rast u jednom treningu, preporučljivo je rasporediti ukupni trenažni volumen tijekom tjedna na više treninga. Time se može bolje iskoristiti sposobnost mišića za sintezu proteina, što može rezultirati većim mišićnim rastom.

Prema meta analizi Schoenfelda (2016), trening visoke frekvencije pokazao je statistički značajno veći porast mišićne hipertrofije u usporedbi s treningom niske frekvencije. Konkretno, istraživanje je pokazalo da je porast mišićne mase bio 6.8% u grupama s visokom frekvencijom treninga, u usporedbi s 3.9% u grupama s niskom frekvencijom. Kada je analiziran utjecaj frekvencije na različite dijelove tijela, primijećen je trend koji podržava prednost visoke frekvencije za donji dio tijela, iako taj trend nije bio statistički značajan ($p=0,08$).

Prema istraživanju Barcelos i suradnika (2018), nije bilo statistički značajnih razlika u mišićnoj hipertrofiji između grupa koje su trenirale 2, 3 ili 5 puta u tjednu. Istraživanje Briggato i suradnika (2019) također nije pokazalo statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji između grupa koje su trenirale jednom tjedno u usporedbi s grupom koja je trenirala dva puta tjedno, unatoč jednakom trenažnom volumenu od 16 radnih serija tjedno za obje grupe. Unatoč nedostatku statistički značajnih razlika prema ovim istraživanjima, preporučuje se podjela trenažnog volumena na dva treninga tjedno kako bi se pojedinačni treninzi učinili manje zahtjevnima i kako bi se omogućilo postizanje kvalitetnijeg ukupnog trenažnog volumena.

Prema istraživanju Šarića i suradnika (2018) koje je analiziralo utjecaj različitih frekvencija treninga (3 puta tjedno u usporedbi sa 6 puta tjedno) na mišićni rast, nije bilo statistički značajnih razlika u poprečnom presjeku opružачa podlaktice, pregibača podlaktice i opružачa potkoljenice između dviju grupa. Trenažni volumen između grupa bio je isti, a promjene u mišićnoj hipertrofiji analizirane su pomoću ultrazvuka. Jedina statistički značajna promjena uočena je bila u grupi s nižom frekvencijom, koja je pokazala povećanje poprečnog presjeka pregibača podlaktice prije i nakon intervencije. Prema rezultatima ovog istraživanja, frekvencija treninga od 3 puta tjedno pokazala se jednako učinkovitom kao i frekvencija od 6 puta tjedno za postizanje mišićne hipertrofije.

Na temelju istraživanja Schoenfelda i suradnika (2015), koje je proučavalo utjecaj visoke i niske frekvencije treninga na mišićni rast, 20 muških ispitanika s prethodnim iskustvom u treningu podijeljeno je u dvije grupe. Prva grupa (n-10) koristila je nisku frekvenciju treninga, prakticirajući tzv. "split rutine", dok je druga grupa (n-10) s visokom frekvencijom trenirala cijelo tijelo 3 puta tjedno. Nakon 8 tjedana istraživanja Schoenfelda i suradnika (2015), primijećene su značajne razlike u korist grupe koja je provodila trening visoke frekvencije za pregibače podlaktice (6.5% u odnosu na 4.4%, $p < 0.001$). Također su uočene tendencije prema većoj mišićnoj hipertrofiji opružачa podlaktice i koljena u grupi s visokom frekvencijom, no ove razlike nisu dosegle statističku značajnost.

Na temelju rezultata istraživanja Zaronija i suradnika (2019), koje je istraživalo učinke niske i visoke frekvencije treninga na mišićnu hipertrofiju, utvrđeno je da visoka frekvencija treninga rezultira statistički značajnom hipertrofijom pregibača podlaktice i opružачa potkoljenice u usporedbi s niskom frekvencijom ($p < 0.05$).

Ovi nalazi sugeriraju da visoka frekvencija treninga može potencijalno optimizirati mišićni rast. Visoka frekvencija omogućuje praktičniji način za postizanje većeg tjednog trenažnog volumena, što može biti ključna strategija za maksimiziranje mišićnih prilagodbi.

Na temelju prethodno navedenog istraživanja koje potvrđuje prednosti visoke frekvencije treninga za mišićnu hipertrofiju, preporučuje se sljedeće:

- Stimulirati svaku mišićnu skupinu najmanje dva puta tjedno, posebno kada se koristi visoki trenažni volumen. To omogućuje češću stimulaciju mišića, što može povoljno utjecati na mišićnu adaptaciju i rast.
- Organizirati treninge tako da ciljaju specifične mišićne skupine kao što su gornji i donji dio tijela ili izvođenje potisaka i povlačenja, prakticirati treninge cijelog tijela s visokom frekvencijom treninga može biti korisno za optimalnu stimulaciju mišića tijekom tjedna.

4.5. Interval odmora

Intervali odmora u treningu s otporom su ključni za oporavak između serija i vježbi te ih možemo podijeliti u tri kategorije prema trajanju. Kratki odmori su manje od 30 sekundi, srednje dugi odmori traju između 60 i 90 sekundi, dok su dugi odmori dulji od 3 minute (Schoenfeld, 2021).

Pauze između serija imaju ključnu ulogu u reguliranju umora i oporavka te izravno utječu na izvedbu. Adekvatan oporavak između serija je bitan kako bi se omogućila obnova kreatin-fosfatnog sustava i uklanjanje metaboličkih otpadnih produkata poput vodikovih iona i laktata u krvi. Nedostatak adekvatnog oporavka može negativno utjecati na izvedbu jer nakupljanje metaboličkih otpadnih produkata može ograničiti sposobnost generiranja sile u mišićima. Kratki odmori mogu stvoriti visoke razine metaboličkog stresa, ali mogu negativno utjecati na ukupni trenažni volumen.

S druge strane, duži odmori omogućuju veći ukupni volumen, iako njihova primjena može produžiti ukupno trajanje treninga (Grgić i sur., 2017). Ukupno trajanje intervala odmora u treningu s otporom ima značajan akutni utjecaj koji može utjecati i na kronične adaptacije mišića. Prema rezultatima istraživanja Ratamessa i suradnika (2007), primjena kratkih odmora (manje od 30 sekundi) dovodi do nakupljanja metaboličkih produkata u mišićima te značajnog smanjenja ukupnog trenažnog volumena za više od 50%.

Iako kratki intervali odmora povećavaju metabolički stres, smanjenje mehaničkog opterećenja može utjecati na mehanizme mišićne hipertrofije, koji su uglavnom vezani uz mehaničku napetost. S druge strane, duge pauze omogućuju gotovo konstantan trenažni volumen iz serije u seriju te uklanjanje većine metaboličkih produkata. Srednje dugi odmori (oko 90 sekundi) smatraju se optimalnima za poticanje mišićnog rasta jer omogućuju ravnotežu između održavanja trenažnog volumena i dovoljne razine metaboličkog stresa (Schoenfeld, 2021).

U istraživanju Ahtaiena i suradnika (2005) proučavan je utjecaj dugih i kratkih intervala odmora na mišićni rast te je sudjelovalo 13 ispitanika s trenažnim iskustvom. Istraživanje je trajalo 6 mjeseci podijeljenih u dva perioda od po 3 mjeseca. Svi trenažni parametri osim intervala odmora bile su jednaki u oba perioda. Prva 3 mjeseca interval odmora bio je 2 minute, dok je druga 3 mjeseca interval odmora iznosio ukupno 5 minuta. Mišićna hipertrofija je procijenjena korištenjem magnetske rezonance, ali istraživanje nije pokazalo značajne razlike u hipertrofiji između grupa koje su koristile pauze od 2 i 5 minuta između serija ($1.8 \pm 4.7\%$ za 2-minutne pauze i $1.8 \pm 3.6\%$ za 5-minutne pauze).

U istraživanju Schoenfelda i suradnika (2016), istraživali su se učinci različitih intervala odmora (1 minutu u odnosu na 3 minute) na mišićnu hipertrofiju. Tijekom 8 tjedana, 21 ispitanik je sudjelovao u treningu cijelog tijela tri puta tjedno. Na kraju studije, primijećene su značajne razlike u povećanju mišićne mase opružaca koljena u korist dužeg intervala odmora ($p=0.04$). Za opružace podlaktice također su zabilježene tendencije prema većem rastu uz duži interval odmora ($p=0.06$), iako statistički nisu dosegnute značajnosti. Na osnovu ovih rezultata može se interpretirati da su dulji periodi odmora učinkovitiji od kraćih kada je glavni cilj postizanje mišićne hipertrofije.

Istraživanje Grgića i suradnika (2017), provedeno u obliku sustavnog pregleda, analiziralo je utjecaj različitih duljina intervala odmora na mišićnu hipertrofiju. Prema rezultatima, analiza šest istraživanja nije pokazala statistički značajne razlike između kratkih (<60 sekundi) i dugih (>60 sekundi) intervala odmora u poticanju mišićnog rasta.

Specifično, mišićna hipertrofija iznosila je $9.2 \pm 0.1\%$ za dulje intervale odmora i $5.8 \pm 1.1\%$ za kraće intervale odmora, s p-vrijednošću od 0.22. Preporuka je da se za treninge s visokim volumenom koriste duži intervali odmora, no važno je uzeti u obzir druge faktore poput izbora vježbe i intenziteta napora.

Osnovne, višezglobne vježbe, koje uzrokuju veći umor, zahtijevaju dulje intervale odmora. S druge strane, izolirajuće vježbe, koje su manje zahtjevne, mogu se izvoditi s kraćim intervalima odmora kako bi se postigao veći metabolički stres.

Na temelju prethodno navedenog, preporučuje se :

- Koristiti intervale odmora od najmanje 2 minute.
- Kod izolirajućih vježbi razmotriti mogućnost skraćivanja intervala odmora kako bi se postigla veća akumulacija metaboličkog stresa.

4.6. Trajanje ponavljanja

Trajanje ponavljanja određuje ukupno vrijeme trajanja izometrične, ekscentrične i koncentrične kontrakcije tijekom jednog ponavljanja, određeno tempom. Tempo se obično izražava kao troznamenasti broj koji predstavlja vremenski interval (u sekundama) za svaku fazu izotoničke mišićne akcije, redom koncentrična – izometrična – ekscentrična. Na primjer, tempo 2-1-4 znači da koncentrična faza traje 2 sekunde, izometrična 1 sekundu, a ekscentrična 4 sekunde, što ukupno iznosi 7 sekundi po ponavljanju. Tempo može biti voljno kontroliran, ali to ovisi o opterećenju i umoru pojedinca. Za savladavanje većih opterećenja potrebno je dulje vrijeme, osobito tijekom koncentrične faze. Akutni umor lokalne mišićne skupine može usporiti tempo izvođenja, jer mišićna vlakna neće moći kontinuirano generirati silu. S druge strane, manja opterećenja mogu se brže izvoditi, ali prema kraju seta ili pri približavanju mišićnom otkazu tempo se može značajno usporiti.

U istraživanju Mookerjeea i suradnika (1999), koje je proučavalo maksimalno brzo izvođenje koncentrične faze u vježbi potiska s ravne klupe, prva tri ponavljanja trajala su između 1.2 i 1.6 sekundi, dok su četvrto i peto ponavljanje trajali između 2.5 i 3.3 sekunde. U istraživanju Keogha i suradnika (1999), koje je proučavalo utjecaj tempa izvođenja na aktivaciju mišića tijekom potiska sa šipkom s ravne klupe, ispitanici bili su podijeljeni u dvije grupe.

Prva grupa izvodila je vježbu tempom 5-0-5 (5 sekundi za koncentričnu fazu, 0 sekundi za izometričnu fazu, 5 sekundi za ekscentričnu fazu), dok je druga grupa nastojala savladati opterećenje maksimalnom brzinom. Rezultati su pokazali da je grupa koja je vježbu izvodila maksimalnom brzinom imala statistički značajno veću aktivaciju mišića *m. pectoralis major* u usporedbi s grupom koja je koristila sporiji tempo ($p < 0.05$).

Ova studija sugerira da prekomjerno usporavanje koncentrične i ekscentrične faze može ograničiti maksimalnu aktivaciju mišića tijekom vježbe. Važno je istaknuti koncept poznat kao vrijeme pod tenzijom (eng. *time under tension*; TUT), koji se smatra ključnim parametrom u treningu i izravno je povezan s tempom izvođenja vježbi. Vrijeme pod napetošću može se definirati kao ukupno vrijeme tijekom kojeg je mišić bio pod konstantnim mehaničkim stresom, bez obzira na trajanje pojedinog ponavljanja ili tempo izvođenja. Iako TUT nije čvrsto potvrđen znanstvenim istraživanjima, preporuka je da bi serije trebale imati TUT u rasponu od 40 do 60 sekundi kako bi se optimizirao najveći mišićni rast (Schoenfeld, 2021). U istraživanju Burda i suradnika (2012) proučavao se utjecaj TUT-a na mišićnu hipertrofiju između grupa koje su koristile različita tempa izvođenja vježbi. Grupa koja je izvodila vježbe tempom 6-0-6 imala je ukupno šest puta duže vrijeme pod napetošću u usporedbi s grupom koja je izvodila vježbe tempom 1-0-1. Unatoč tome, grupa koja se koristila tempom 1-0-1 pokazala je značajno veću razinu sinteze mišićnog proteina. Važno je napomenuti da je sporija grupa izvodila vježbe do mišićnog otkaza kako bi se osiguralo da je ukupni trenažni volumen bio izjednačen između grupa.

TUT kao koncept ima svoja ograničenja jer ne uzima u obzir druge važne faktore kao što su intenzitet napora ili opterećenje. Na primjer, vježbanje s nižim opterećenjem može rezultirati duljim TUT-om, ali ako ne dovede do mišićnog otkaza ili blizu njega, može imati manji učinak. Osim toga, TUT ne uzima u obzir tempo izvođenja vježbi. Na primjer, tempa 1-0-4 i 4-0-1 mogu rezultirati istim TUT-om, ali različito utjecati na mišićnu hipertrofiju zbog razlika u stimulaciji unutarstaničnih anaboličkih signalnih puteva koji su potaknuti različitim fazama mišićne akcije. Unatoč ovim ograničenjima, TUT je važan koncept u treningu mišićne hipertrofije, ali je također važno uzeti u obzir i druge trenažne varijable kako bi se postigao optimalan učinak (Schoenfeld, 2021). Istraživanje Pereire (2016) proučavalo je učinke različitih tempa izvedbe na mišićni rast. Ispitanici su nasumično podijeljeni u dvije grupe: jedna grupa izvodila je vježbu s tempom izvedbe 1-0-1 (n=6), dok je druga grupa koristila tempo izvedbe 1-0-4 (n=6).

Tijekom 12-tjednog razdoblja, s dva treninga tjedno, obje grupe su izvodile 3 serije od 8 ponavljanja fleksije podlaktice (Scott pregib). Na kraju istraživanja, grupa s tempom izvedbe 1:0:4 ostvarila je nešto veći mišićni rast pregibača podlaktice u usporedbi s grupom s tempom izvedbe 1:0:1, iako statistička značajnost razlika nije postignuta.

Moguće objašnjenje za bolje rezultate u grupi s tempom 1:0:4 može ležati u njihovom značajno dužem vremenu pod napetošću (TUT), što ukazuje na veću količinu mehaničke napetosti tijekom izvođenja vježbi. Ova veća mehanička napetost može rezultirati potencijalno većim mišićnim rastom u toj grupi..

U istraživanju Azeveda i suradnika (2022), proučavan je utjecaj različitog trajanja ekscentrične mišićne kontrakcije na mišićnu hipertrofiju. Grupa od deset ispitanika bila je nasumično podijeljena u dvije skupine: jedna je izvodila ekscentričnu mišićnu kontrakciju u trajanju od 2 sekunde, dok je druga izvodila istu kontrakciju u trajanju od 4 sekunde. Tijekom 8 tjedana, oba treninga su se sastojala od 5 serija opružaca potkoljenice na trenažeru, izvedenih do mišićnog otkaza. Promjene u mišićnoj hipertrofiji *m. vastus medialis* mjerile su se pomoću ultrazvuka. Na kraju istraživanja, utvrđeno je da je grupa koja je izvodila ekscentričnu mišićnu kontrakciju u trajanju od 4 sekunde postigla je veći mišićni rast *m. vastus medialis* (4.29% u odnosu na 2.37%, $p=0.018$), što ukazuje na potencijalnu prednost dužeg trajanja ekscentrične faze u treningu za postizanje mišićne hipertrofije.

U istraživanju koje je proveo Schoenfeld sa suradnicima (2018), proučavane su tehnike koje mogu potaknuti mišićne prilagodbe, poput umnomišićne veze (eng. *mind-muscle connection*). Ovaj koncept obuhvaća svjesnost vježbača o kontrakcijama mišića koji se aktivno koristi u treningu s otporom. Za optimizaciju sportske izvedbe, vanjski fokus se često smatra učinkovitijim, dok je za ciljeve povezane s mišićnim rastom, unutarnji fokus često korisnija strategija. Korištenje unutarnjeg fokusa tijekom treninga s otporom pozitivno utječe na povećanu kontrakciju mišića, što može doprinijeti boljim rezultatima u razvoju mišićne mase. Umnomišićna veza se često koristi kao koncept koji naglašava važnost svjesnosti i kontrole nad mišićnom kontrakcijom, osobito u kontekstu bodybuildinga i drugih oblika treninga s ciljem izgradnje mišića. U istraživanju koje je izravno istraživalo utjecaj umnomišićne povezanosti na mišićnu hipertrofiju, primijećeno je da je grupa ispitanika koja je bila svjesna kontrakcija mišića postigla značajno veći prirast pregibača podlaktice (12.4% u usporedbi sa 6.9%). Za mišićnu muskulaturu nogu nisu primjećene statistički značajne razlike.

Ovi rezultati sugeriraju da svjesnost kontrakcija mišića, poznata kao umnomišićna veza, može imati značajan utjecaj na hipertrofiju određenih mišićnih skupina, posebno za gornji dio tijela. To može biti povezano s boljom motoričkom kontrolom ili većom sposobnošću usmjeravanja pažnje na specifične mišićne skupine tijekom vježbanja (Schoenfeld i sur., 2018).

Na temelju navedenog, preporuke su:

- Za izotoničke mišićne kontrakcije preporučuje se raspon trajanja od 0.5 do 6 sekundi kako bi se osigurala raznovrsnost u stimulaciji mišića.
- Važno je pažljivo kontrolirati opterećenje tijekom svih faza mišićnih akcija kako bi se osigurala pravilna izvedba i minimizirala mogućnost ozljeda.
- Preporučuje se razvoj snažne umnomišićne veze fokusiranjem na interni fokus tijekom izvođenja vježbi, što može poboljšati aktivaciju ciljanih mišića i potencijalno potaknuti mišićnu hipertrofiju.

5. ZAKLJUČAK

Trening s otporom značajno je porastao u popularnosti tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Nekada rezerviran isključivo za kondicijsku pripremu sportaša, danas je od velike važnosti i u rekreativnom treningu, a jednako i u prevenciji ozljeda te rehabilitaciji. Trening s otporom može značajno povećati mišićnu masu, što je važno za opće zdravlje, svakodnevne aktivnosti i sportsku izvedbu. Sve više ljudi se uključuje u rekreativni fitness, a jedan od najčešćih ciljeva, posebice među muškarcima, je povećanje mišićne mase.

S napretkom znanosti i tehnologije, stječemo nova znanja o fitnessu. Važno je stalno usvajati nove znanstvene spoznaje i odbacivati zastarjele metode. Na primjer, novija istraživanja pokazuju da nije potrebno izvoditi 30 serija po mišićnoj skupini unutar jednog treninga ili da je moguće postići optimalnu mišićnu hipertrofiju od 30 ponavljanja po seriji. Ključ uspješnog sportskog treninga, uključujući trening usmjeren na mišićnu hipertrofiju, leži u individualizaciji programa i praktičnoj primjeni najnovijih znanstvenih spoznaja. Trening s otporom donosi brojne prednosti za različite dobne skupine i razine fizičke spremnosti. Osim povećanja mišićne mase, ovaj oblik treninga povećava gustoću kostiju, smanjuje rizik od kroničnih bolesti poput dijabetesa i kardiovaskularnih bolesti te poboljšava psihičko zdravlje. Redoviti trening s otporom može smanjiti simptome depresije i anksioznosti, poboljšati kvalitetu sna i povećati samopouzdanje.

Jedan od ključnih aspekata uspješnog treninga s otporom je individualizacija programa. Svaka osoba ima jedinstvene ciljeve, fizičke sposobnosti, povijest ozljeda i razinu kondicije. Zbog toga je važno prilagoditi trening program specifičnim potrebama i ciljevima pojedinca. To uključuje odabir odgovarajućih vježbi, određivanje optimalnog broja serija i ponavljanja, te prilagodbu intenziteta i volumena treninga, čime se osigurava postizanje najboljih mogućih rezultata za svakog pojedinca.

6. LITERATURA

- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J. i Häkkinen, K. (2005). Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: Influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 572–582. <https://doi.org/10.1519/15604.1>
- Azevedo, P., Oliveira, M. i Schoenfeld, B. J. (2022). Effect of different eccentric tempos on hypertrophy and strength of the lower limbs. *Biology of Sport*, 39(2), 443–449. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.105335>
- Azevedo, P., Oliveira, M. i Schoenfeld, B. J. (2022). Effect of different eccentric tempos on hypertrophy and strength of the lower limbs. *Biology of Sport*, 39(2), 443–449. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.105335>
- Barcelos, C., Damas, F., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Marcelino Eder Dos Santos, L. i Libardi, C. A. (2018). High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. *European Journal of Sport Science*, 18(8), 1077–1082. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1476590>
- Barcelos, C., Damas, F., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Marcelino Eder Dos Santos, L. i Libardi, C. A. (2018). High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. *European Journal of Sport Science*, 18(8), 1077–1082. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1476590>
- Barcelos, C., Damas, F., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Marcelino Eder Dos Santos, L. i Libardi, C. A. (2018). High-frequency resistance training does not promote greater muscular adaptations compared to low frequencies in young untrained men. *European Journal of Sport Science*, 18(8), 1077–1082. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1476590>
- Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, C. i Santos-Concejero, J. (2022). A systematic review of the effects of different resistance training volumes on muscle hypertrophy. *Journal of Human Kinetics*, 81, 199–210. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0017>
- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M. i 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>
- Bhasin, S., i sur. (1996). Testosterone administration increases muscle mass and strength in hypogonadal men. *The New England Journal of Medicine*, 335(1), 1-7.
- Brigatto, F. A., Braz, T. V., Zanini, T., Germano, M. D., Aoki, M. S., Schoenfeld, B. J., Marchetti, P. H. i Lopes, C. R. (2019). Effect of resistance training frequency on neuromuscular performance and muscle morphology after 8 weeks in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2104–2116.

- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., Cashaback, J. G., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K. i Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *The Journal of Physiology*, 590(2), 351–362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Burd, N. A., West, D. W., Staples, A. W., Atherton, P. J., Baker, J. M., Moore, D. R., Holwerda, A. M., Parise, G., Rennie, M. J., Baker, S. K. i Phillips, S. M. (2010). Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PloS One*, 5(8), e12033. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012033>
- Charge, S. B. P. i Rudnicki, M. A. (2004). Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. *Physiological Reviews*, 84(1), 209-238.
- Clarkson, P. M. i Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), 52-69.
- DeFreitas, J. M., Beck, T. W., Stock, M. S., Dillon, M. A. i Kasishke, P. R. (2011). An examination of the time course of training-induced skeletal muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11), 2785-2790.
- Drummond, M. J. i sur. (2009). Rapamycin administration in humans blocks the contraction-induced increase in skeletal muscle protein synthesis. *Journal of Physiology*, 587(7), 1535-1546.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Medicine*, 34(10),663-679.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T. i 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.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T. i 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.
- Goto, M., Maeda, C., Hirayama, T., Terada, S., Nirengi, S., Kurosawa, Y., Nagano, A. i Hamaoka, T. (2019). Partial Range of Motion Exercise Is Effective for Facilitating Muscle Hypertrophy and Function Through Sustained Intramuscular Hypoxia in Young Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1286–1294. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002051>
- Goto, M., Maeda, C., Hirayama, T., Terada, S., Nirengi, S., Kurosawa, Y., Nagano, A., i Hamaoka, T. (2019). Partial Range of Motion Exercise Is Effective for Facilitating Muscle Hypertrophy and Function Through Sustained Intramuscular Hypoxia in Young Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1286–1294. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002051>

- Grgic, J. (2020). The Effects of Low-Load Vs. High-Load Resistance Training on Muscle Fiber Hypertrophy: A Meta-Analysis. *Journal of Human Kinetics*, 74, 51-58. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0013>
- Grgic, J. (2020). The effects of low-load vs. high-load resistance training on muscle fiber hypertrophy: A meta-analysis. *Journal of Human Kinetics*, 74, 51-58. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0013>
- Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W. i Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 983–993. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1340524>
- Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W. i Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 17(8), 983–993. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1340524>
- Hackett, D. A., Johnson, N. A. i Chow, C. M. (2013). Training practices and ergogenic aids used by male bodybuilders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1609–1617. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318271272a>
- Hackett, D. A., Johnson, N. A. i Chow, C. M. (2013). Training practices and ergogenic aids used by male bodybuilders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1609–1617. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318271272a>
- Häkkinen, K. i Kallinen, M. (1994). Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, 34(2), 117–124.
- Hanssen, K. E., Kvamme, N. H., Nilsen, T. S., Rønnestad, B., Ambjørnsen, I. K., Norheim, F., Kadi, F., Hallèn, J., Drevon, C. A. i Raastad, T. (2013). The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), 728–739. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01452.x>
- Hartman, M. J., Clark, B., Bembens, D. A., Kilgore, J. L. i Bembem, M. G. (2007). Comparisons between twice-daily and once-daily training sessions in male weight lifters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(2), 159–169. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2.2.159>
- Hawke, T. J. i Garry, D. J. (2001). Myogenic satellite cells: Physiology to molecular biology. *Journal of Applied Physiology*, 91(2), 534-551.
- Heaselgrave, S. R., Blacker, J., Smeuninx, B., McKendry, J. i Breen, L. (2019). Dose-Response Relationship of Weekly Resistance-Training Volume and Frequency on Muscular Adaptations in Trained Men. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(3), 360–368. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0427>

- Helms, E. R., Fitschen, P. J., Aragon, A. A., Cronin, J. i Schoenfeld, B. J. (2015). Recommendations for natural bodybuilding contest preparation: Resistance and cardiovascular training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(3), 164–178.
- Helms, E. R., Fitschen, P. J., Aragon, A. A., Cronin, J. i Schoenfeld, B. J. (2015). Recommendations for natural bodybuilding contest preparation: Resistance and cardiovascular training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(3), 164–178.
- Israetel, M., Hoffman, J., Davis, M. i Feather, J. (2021). *Scientific principles of hypertrophy training*. North Carolina, USA: Renaissance Periodization.
- Jukić, I. i Marković, G. (2000). *Kondicijske vježbe s utezima*. Zagreb: Kineziološki fakultet sveučilišta u Zagrebu.
- Keogh, J. W. L., Wilson, G. J. i Weatherby, R. P. (1999). A cross-sectional comparison of different resistance training techniques in the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 247-258. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1999\)013<0247](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1999)013<0247)
- Kraemer, W. J. i Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>
- Lasevicius, T., Schoenfeld, B. J., Silva-Batista, C. i sur. (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., Schoenfeld, B. J., Silva-Batista, C. i sur. (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>
- Lopez, P., Radaelli, R., Taaffe, D. R., Newton, R. U., Galvão, D. A., Trajano, G. S., Teodoro, J. L., Kraemer, W. J., Häkkinen, K. i Pinto, R. S. (2021). Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(6), 1206–1216. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002585>
- Martorelli, S., Cadore, E. L., Izquierdo, M., Celes, R., Martorelli, A., Cleto, V. A., Alvarenga, J. G. i Bottaro, M. (2017). Strength Training with Repetitions to Failure does not Provide Additional Strength and Muscle Hypertrophy Gains in Young Women. *European Journal of Translational Myology*, 27(2), 6339. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2017.6339>
- Mikulčić, P. i Marković, M. (2016). *Motorička kontrola – interna skripta za studente*. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

- Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., West, D. W., Burd, N. A., Breen, L., Baker, S. K., i Phillips, S. M. (2012). Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *Journal of Applied Physiology*, *113*(1), 71-77. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00307.2012>
- Ostrowski, K. J., Wilson, G. J., Weatherby, R. P., Murphy, P. W. i Lyttle, A. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *11*, 148–154.
- Pasiakos, S. M. i sur. (2013). Protein supplements and muscle hypertrophy: Maximize the anabolic potential of resistance training. *Journal of the American College of Nutrition*, *32*(3), 165-168.
- Pereira, P., Motoyama, Y., Esteves, G., Quinelato, W., Botter, L., Tanaka, K. i Azevedo, P. (2016). Resistance training with slow speed of movement is better for hypertrophy and muscle strength gains than fast speed of movement. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, *5*, 37-43.
- Phillips, S. M. (2000). Short-term training: When do repeated bouts of resistance exercise become training? *Canadian Journal of Applied Physiology*, *25*(3), 185-193.
- Radaelli, R., Fleck, S. J., Leite, T., Leite, R. D., Pinto, R. S., Fernandes, L. i 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>
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F. i Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(1), 157–163. <https://doi.org/10.1519/00124278-200702000-00028>
- Saric, J., Lisica, D., Orlic, I., Grgic, J., Krieger, J. W., Vuk, S. i Schoenfeld, B. J. (2019). Resistance Training Frequencies of 3 and 6 Times Per Week Produce Similar Muscular Adaptations in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(1), 122–129. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002909>
- Scarpelli, M. C., Nóbrega, S. R., Santanielo, N., Alvarez, I. F., Otoboni, G. B., Ugrinowitsch, C. i Libardi, C. A. (2022). Muscle Hypertrophy Response Is Affected by Previous Resistance Training Volume in Trained Individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *36*(4), 1153–1157. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003558>
- Schoenfeld, B. (2021). *Science and development of muscle hypertrophy*. Human Kinetics: Illinois, USA.
- 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.

- Schoenfeld, B. J. i Grgic, J. (2020). Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Medicine*, 8, 2050312120901559. <https://doi.org/10.1177/2050312120901559>
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R. i 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., Contreras, B., Willardson, J. M., Fontana, F. i Tiryaki-Sonmez, G. (2014). Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *European Journal of Applied Physiology*, 114(12), 2491–2497. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2976-9>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J. i Krieger, J. (2019). How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis of studies examining the effects of resistance training frequency. *Journal of Sports Sciences*, 37(11), 1286–1295. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1555906>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W. i Plotkin, D. L. (2021). Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W. i Plotkin, D. L. (2021). Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. *Sports (Basel, Switzerland)*, 9(2), 32. <https://doi.org/10.3390/sports9020032>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I. i Krieger, J. W. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(4), 577–585. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0304-0>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. V. i Krieger, J. W. (2017). 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. i Krieger, J. W. (2016). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(11), 1689–1697. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. i Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073–1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>

- Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J. A., Bond-Williams, K. E., Carter, A. S., Ross, C. L., Just, B. L., Henselmans, M. i Krieger, J. W. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1805–1812. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001272>
- Schoenfeld, B. J., Ratamess, N. A., Peterson, M. D., Contreras, B. i Tiriyaki-Sonmez, G. (2015). Influence of Resistance Training Frequency on Muscular Adaptations in Well-Trained Men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1821–1829. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000970>
- Schoenfeld, B. J., Vigotsky, A., Contreras, B., Golden, S., Alto, A., Larson, R., Winkelman, N. i Paoli, A. (2018). Differential effects of attentional focus strategies during long-term resistance training
- Tipton, K. D. i sur. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 281(2), 197-206.
- Velloso, C. P. (2008). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *British Journal of Pharmacology*, 154(3), 557-568.
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M. i Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30–43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>
- Wretman, C. i sur. (2001). Increased expression of mitogen-activated protein kinases (ERK/MAPK) in skeletal muscle from endurance-trained rats. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(4), 345-354.
- Zanini, T., Brigatto, F. A., Germano, M. D., Aoki, M. S., Schoenfeld, B. J., Marchetti, P. H. i Lopes, C. R. (2019). Effect of resistance training frequency on neuromuscular performance and muscle morphology after 8 weeks in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2104–2116.

7. ŽIVOTOPIS

Moje ime je Mihael Kotorac, rođen sam 4. kolovoza 1996. godine u Osijeku, gradu koji me oblikovao i inspirirao na mnoge načine. Moj srednjoškolsko obrazovanje započelo je u Ekonomskoj i Upravnoj školi Osijek, gdje sam stekao temelje u ekonomiji i upravljanju. Tijekom tih godina, razvijao sam analitičke vještine i naučio kako funkcioniraju poslovni procesi, no ubrzo sam shvatio da moja strast leži u sportu. Kroz srednju školu, osim ekonomskih predmeta, uvijek sam bio zainteresiran za sport i tjelesnu aktivnost. Od malena sam pokazivao ljubav prema sportu i sportskim aktivnostima. Treniranje različitih sportova i sudjelovanje u školskim natjecanjima postalo je moja svakodnevnica. Shvatio sam da me rad s ljudima i pomaganje drugima ispunjava više od bilo koje ekonomske formule.

Nakon završetka srednje škole, odlučio sam slijediti svoje srce i upisao sam Kineziološki fakultet u Osijeku. Trenutno sam student treće godine ovog fakulteta i svakodnevno učim o ljudskom tijelu, fiziologiji te različitim metodama treninga i rehabilitacije. Fakultet mi je omogućio da spojim svoje interese za sport i znanost te da razvijem praktične vještine koje su mi potrebne za buduću karijeru. Moj glavni hobi je trening u teretani, gdje provodim puno svog slobodnog vremena usavršavajući svoje vještine i fizičku spremu. Volim životinje i boravak u prirodi, što mi pomaže održati balans između studija, treninga i osobnog života. Kao fitness trenera, posebno me ispunjava rad s klijentima kojima nastojim pomoći usvojiti zdravije životne navike.

Moje obrazovanje na Kineziološkom fakultetu nije samo akademsko putovanje, već i osobni razvoj. Naučio sam kako pristupiti svakom klijentu individualno, razumjeti njihove potrebe i ciljeve, te kako kreirati programe treninga koji su prilagođeni njihovim specifičnostima. Također, stekao sam duboko razumijevanje o važnosti prevencije ozljeda i rehabilitacije, što je ključni aspekt u radu s ljudima svih dobnih skupina. U budućnosti, planiram nastaviti razvijati svoje vještine i znanja, te se usmjeriti na rad u području sportske rehabilitacije i kondicijske pripreme. Vjerujem da mogu doprinijeti zdravlju i dobrobiti drugih kroz svoju strast i predanost kineziologiji. Moj profesionalni put, dokaz je da slijediti svoje srce i strasti može voditi do ispunjenja i uspjeha. Svaki korak koji sam poduzeo, oblikovao je moj put, što mi je omogućilo da postanem osoba kakva sam danas. Uvjeren sam da ću kroz svoju karijeru nastaviti rasti, učiti i inspirirati druge da žive zdravim i aktivnim životom.

8. PRILOG (dokaz o provjeri izvornosti)

Obrazac br. 2

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
KINEZILOŠKI FAKULTET OSIJEK

Potvrda mentora o provedenom postupku provjere izvornosti rada

Ime i prezime studenta:	Mihael Kotorac
JMBAG:	0111130024
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Kineziologija
Vrsta rada:	završni rad
Tema:	<input checked="" type="radio"/> stručna <input type="radio"/> znanstvena
Mentor:	doc. dr. sc. Mijo Čurić
Datum predaje rada:	20. kolovoza 2024
Datum provjere rada:	26. kolovoza 2024
Naziv datoteke:	VA_NOST_VOLUMENA_TRENINGA_U_RAZVOJU_MIJNE_HIPERTROFIJE.docx
Veličina datoteke:	85,7 KB
Broj stranica:	40
Broj riječi/znakova:	11854 / 73114
Podudarnost rada:	23 %
Obrazloženje mentora:	

Datum Potpis mentora

30.8.2024. 