

ULOGA TRENAŽNIH VARIJABLI U TRENINGU MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Bare, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:015878>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-15**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva: magistar kineziologije u edukaciji i kondicijska priprema sportaša)

Marko Bare

**ULOGA TRENAŽNIH VARIJABLI U TRENINGU
MIŠIĆNE HIPERTROFIJE**

diplomski rad

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, rujan, 2022.

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

Mentor:

Student:

ULOGA TRENAŽNIH VARIJABLI U TRENINGU MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Sažetak

Poznato je da je trening s otporom učinkovita strategija za povećanje mišićne mase kod ljudi. Mišićna hipertrofija predstavlja kronično stanje koje karakterizira povećanje poprečnog presjeka mišićnih vlakana. Iako mehanizmi zaslužni za pokretanje hipertrofijskih procesa nisu u potpunosti istraženi, pretpostavlja se da mehanička napetost, metabolički stres te mišićno oštećenje imaju određenu ulogu u navedenim procesima. Programi treninga s otporom sadrže varijable koje uključuju volumen, intenzitet, frekvenciju, intenzitet napora, interval odmora, vrstu mišićne akcije, trajanje ponavljanja, izbor vježbi, redoslijed vježbi i opseg pokreta. Primjerenom manipulacijom navedenih trenažnih varijabli moguće je značajno utjecati na kronične adaptacije mišićnog sustava. Ovaj diplomski rad pruža detaljan opis utjecaja pojedine varijable u treningu mišićne hipertrofije zajedno s praktičnim smjernicama.

Ključne riječi: hipertrofija, mišić, trening, volumen, frekvencija

ROLE OF RESISTANCE TRAINING VARIABLES IN HYPERTROPHY TRAINING

Abstract

It is well known that resistance training is an effective strategy for increasing muscle mass in humans. Muscle hypertrophy is a chronic condition characterized by an increase in the cross-section of muscle fibers. Although the mechanisms responsible for the initiation of hypertrophic processes have not been fully investigated, it is assumed that mechanical tension, metabolic stress and muscle damage play a certain role in the aforementioned processes. Resistance training programs contain variables that include volume, intensity, frequency, intensity of effort, rest interval, type of muscle action, repetition duration, exercise selection, exercise order, and range of motion. Adequate manipulation of the mentioned training variables can significantly influence the chronic adaptations of the muscular system. This thesis provides a detailed description of the influence of individual variables in muscle hypertrophy training together with practical guidelines.

Key words: hypertrophy, muscle, training, volume, frequency

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TRENAŽNE VARIJABLE	3
2.1. Volumen.....	3
2.2. Opterećenje	8
2.3. Frekvencija.....	12
2.4. Intenzitet napora	16
2.5. Interval odmora.....	18
2.6. Vrsta mišićne akcije.....	20
2.7. Trajanje ponavljanja	23
2.8. Izbor vježbi	26
2.9. Redoslijed vježbi.....	28
2.10. Opseg pokreta.....	29
3. ZAKLJUČAK.....	32
4. LITERATURA	33

1. UVOD

“Jedan od najstarijih načina opterećivanja vježbača jest gravitacijska sila Zemlje, odnosno težina tereta vlastitog ili drugih tijela” (Harasin, 2003). Trening s otporom primarna je intervencija za povećanje mišićne mase kod ljudi. Isto tako, trening s otporom uspješno smanjuje rizik od nastanka kardiovaskularnih bolesti i smrtnosti, kao i rizik od razvijanja dijabetesa tipa II (Schoenfeld, 2021).

Jedan od primarnih ciljeva gotovo svakog pojedinca koji je uključen u trening s opterećenjem je mišićna hipertrofija, odnosno povećanje mišićne mase te razvoj jakosti. Imajući to na umu, maksimizacija živčano-mišićnih adaptacija moguća je uz adekvatnu manipulaciju svih trenažnih varijabli poput volumena, intenziteta, frekvencije, intervala odmora, izbora i redoslijeda vježbi, vrste mišićne akcije, intenziteta napora te opsega pokreta.

Mišićna hipertrofija uzrokovana je fenomenom mehanotransdukcija, a temelji se na pretvorbi mehaničkih sila u sarkolemi mišića u biokemijske signale koji aktiviraju anaboličke ili kataboličke puteve. S dovoljno mehaničkog opterećenja anabolički procesi dominiraju kataboličkim što rezultira povećanjem sinteze proteina u mišićima te u konačnici mišićnim rastom (Schoenfeld, 2021).

“Mišićna hipertrofija nastaje kao rezultat povećanja poprečnog presjeka mišićnih vlakana” (MacDougall i suradnici, 1984; Sale i suradnici, 1987, prema Earle i Beachle, 2000). Važno je razlikovati dva osnovna tipa mišićne hipertrofije - sarkoplazmatsku i miofibrilarnu mišićnu hipertrofiju. “Sarkoplazmatsku hipertrofiju karakterizira povećanje poprečnog presjeka mišićnih vlakana dok gustoća miofibrila u vlaknu opada. Miofibrilarnu hipertrofiju karakterizira povećanje veličine i broja miofibrila. Ona značajno utječe na povećanje snage i jakosti” (Zatsiorskij, 1995; Siff i Verkoshansky, 1998).

Iako je glavni mehanizam koji uzrokuje hipertrofijski podražaj i dalje nepoznat definirana su tri glavna hipertrofijska senzora koja imaju svoje mjesto u potencijalnom aktiviranju hipertrofijskih procesa, a to su: *mehanička tenzija*, *metabolički stres* i *mišićno oštećenje* (Weckerhage i suradnici, 2018).

Mehanička tenzija primarni je pokretač anaboličkih procesa, a temelji se na činjenici da savladavanje mehaničke sile uzrokuje aktivaciju anaboličkih signalnih puteva koji su ključni za stimuliranje sinteze proteina u mišićima (Schoenfeld, 2021). Jedan od ključnih signalnih puteva je mTOR (eng. mechanistic target of rapamycin) koji je vrlo vjerojatno primarno središte koje regulira sintezu proteina u mišićima (Weckerhage i suradnici, 2018).

Metabolički stres predstavlja fiziološku reakciju na intenzivno tjelesno vježbanje, a opisuje ga pad pH vrijednosti u mišiću, odnosno nakupljanje metabolita poput laktata i vodikovih iona u stanicama mišića. (Weckerhage i suradnici, 2018).

Mišićno oštećenje (eng. EIMD – exercise induced muscle damage) može biti uzrokovano intenzivnim tjelesnim vježbanjem. Taj fenomen karakterizira oštećenje na razini sarkoleme mišića, a smatra se da može potaknuti anaboličke puteve (Weckerhage i suradnici, 2018).

Cilj ovog diplomskog rada je predstaviti ulogu trenažnih varijabli (volumen, opterećenje, frekvencija, intenzitet napora, interval odmora, vrsta mišićne akcije, trajanje ponavljanja, izbor vježbi, redoslijed vježbi te opseg pokreta) s ciljem postizanja maksimalnih hipertrofijskih učinaka u treningu s otporom.

2. TRENAŽNE VARIJABLE

2.1. Volumen

Volumen u treningu mišićne hipertrofije predstavlja ukupnu količinu mehaničkog rada koja se izvrši tijekom ponavljanja, serije, vježbe, treninga, tjedna ili bilo kojeg drugog vremenskog perioda (Israetel i suradnici, 2021). Trenažni volumen u posljednje je vrijeme dobio posebnu pozornost, a trenutno se smatra kao vrlo važna varijabla u postizanju mišićne hipertrofije. Opće je poznato da je trening s otporom opterećenjem efektivna metoda povećanja mišićne mase. Unatoč tome, optimalan trenažni volumen u cilju maksimalne mišićne hipertrofije je nešto manje jasan.

Trenažni volumen može imati značajnu ulogu u kroničnim adaptacijama poput mišićne hipertrofije. Primjerice, u istraživanju Burda i suradnika (2010) izmjereno je znatno veće povećanje sinteze proteina u mišićima nakon što su ispitanici izveli tri serije ekstenzije potkoljenice do mišićnog otkaza u odnosu na samo jednu seriju. Isto tako, utvrđeno je da izvođenje nekoliko serija u odnosu na samo jednu seriju rezultira većom mišićnom hipertrofijom za 40% (Krieger i suradnici, 2018).

Istraživanje Radaella i suradnika (2015) proučavalo je utjecaj primjene različitih trenažnih volumena na mišićnu hipertrofiju. Prva grupa ispitanika izvodila je samo jednu radnu seriju po vježbi, druga grupa izvodila je tri radne serije, dok je treća grupa izvodila pet radnih serija. Intervencija je trajala 6 mjeseci, a promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću ultrazvuka. Grupe koje su izvodile 3 i 5 radnih serija po vježbi tjedno statistički su značajno povećale pregibače podlaktice ($p < 0,05$) u odnosu na grupu koja je izvodila samo jednu radnu seriju. Kod grupe koja je izvodila pet radnih serija uočena je statistički značajna razlika kod ekstenzora podlaktice u odnosu na obje grupe ($p < 0,05$). Na temelju ovih rezultata vidljivo je kako izvođenje većeg broja serija rezultira većim mišićnim rastom u odnosu na izvođenje samo jedne serije.

Najveći problem volumena je njegovo kvantificiranje. Ono se može vršiti na nekoliko načina, od kojih su najčešći: *ukupni rad* (sila x udaljenost), *ukupan broj radnih serija* (eng. set volume), *ukupno podignuto opterećenje* (broj serija x ponavljanja x opterećenje) i *ukupan broj ponavljanja* (broj serija x ponavljanja). Iako se metoda “*ukupni rad*” (sila (N) x udaljenost (m)) smatra

najpreciznijom, poprilično je nepraktična i teško ju je provesti za sve mišićne skupine. Upravo zato metoda *ukupno podignuto opterećenje* (broj serija x ponavljanja x opterećenje) najviše je korištena metoda za kvantificiranje volumena. Glavna prednost ove metode je da u samom izračunu automatski uključuje i druge trenažne varijable poput broja serija, ponavljanja i opterećenja. Na temelju brojnih radova ova metoda se čini kao dovoljno precizna i relativno jednostavna alternativa za kvantificiranje trenažnog volumena (Valle i suradnici, 2018).

Najveći utjecaj na ukupnu količinu volumena može imati frekvencija treninga. Osim frekvencije, veliki utjecaj na ukupni trenažni volumen ima broj radnih serija koje se izvode po pojedinoj mišićnoj skupini (eng. set volume). Metoda kvantificiranja volumena putem ukupnog broja radnih serija pokazala se adekvatnom ako se radne serije izvode u rasponu od 6 do 20 ponavljanja, te ako su serije dovedene do mišićnog otkaza (Valle i suradnici, 2018). Na temelju rezultata novog sustavnog pregleda preporučuje se trenažni volumen u rasponu od 12 do 20 radnih serija tjedno, uz uvjet da su serije izvedene do mišićnog otkaza (Valle i suradnici, 2022).

Ostrowski i suradnici (1997) istraživali su utjecaj različitog trenažnog volumena na mišićnu hipertrofiju. Uzorak ispitanika činili su iskusni vježbači koji su u periodu od deset tjedana bili podijeljeni u tri skupine: niski volumen (3 do 7 serija tjedno), srednji volumen (6 do 14 serija tjedno) i visoki volumen (12-28 serija tjedno). Rezultati istraživanja pokazali su veći mišićni rast opružaca podlaktice i opružaca koljena u korist skupine visokog volumena. Iako su sve tri grupe statistički značajno povećale poprečni presjek mišića ($p \leq 0,05$), važno je napomenuti da nisu utvrđene statistički značajne razlike između grupa.

U istraživanju Schoenfelda i suradnika (2019) proučavan je utjecaj niskog, srednjeg i visokog volumena na mišićne adaptacije kod mladih muškaraca s trenažnim iskustvom. 34 osobe podijeljene su u tri grupe: niski volumen ($N=11$), srednji volumen ($N=12$) i visoki volumen ($n=11$). Grupa s niskim volumenom izvodila je jednu seriju po vježbi, srednja grupa izvodila je tri serije po vježbi dok je grupa s visokim volumenom izvodila pet serija po vježbi. Ispitanici su sve vježbe izvodili u rasponu od 8 do 12 ponavljanja tri puta tjedno. Protokol je trajao 8 tjedana a promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću ultrazvuka (pregibači i opružaci podlaktice te opružaci potkoljenice). Nakon 8 tjedana kod grupe sa srednjim i visokim volumenom uočen je statistički značajan rast pregibača podlaktice i opružaca potkoljenice u odnosu na grupu s niskim volumenom. Kod opružaca podlaktice nisu pronađeni statistički značajne razlike između grupa.

Rezultati ovih istraživanja potvrđuju “dose-response” odnos između volumena i mišićne hipertrofije. Bez obzira na rezultate ne treba zanemariti trening niskog volumena. Iako je niži volumen manje efektivan za mišićni rast, vidljivo je da treninzi ukupnog trajanja od svega 13 minuta (grupa s niskim volumenom) i dalje mogu doprinijeti mišićnoj hipertrofiji, što osobe koje nemaju puno slobodnog vremena za trening mogu implementirati.

U radu Heaselgravea i suradnika (2018) 49 muškaraca s trenažnim iskustvom bilo je podijeljeno u tri skupine. 17 muškaraca nasumično je odabrano u skupinu niskog volumena (9 serija tjedno), 15 muškaraca u skupinu srednjeg volumena (18 serija tjedno) te 17 muškaraca u skupinu visokog volumena (27 serija tjedno). Protokol je trajao 6 tjedana, a ispitanici su izvodili vježbu *biceps pregib*. Promjene u mišićnoj hipertrofiji pregibača podlaktice (m. biceps brachii) mjerene su pomoću ultrazvuka. Na kraju šestotjednog perioda sve tri skupine su statistički značajno povećale poprečni presjek pregibača podlaktice ($4.3 \pm 7.9\%$, $9.5 \pm 11.8\%$ i $5.4 \pm 6.3\%$ za grupu s niskim, srednjim i visokim volumenom, $p > 0.05$), no nisu pronađene statistički značajne razlike između grupa. Na temelju rezultata vidljivo je da i nizak volumen (9 serija) može biti dovoljan za ostvarivanje značajnog mišićnog rasta, dok izrazito visok volumen od 29 serija tjedno može pojedinca dovesti u stanje pretreniranosti što onemogućava optimalan mišićni rast.

Na temelju meta-analize Schoenfelda i suradnika (2017) uočeno je kako trening većeg volumena doprinosi većoj mišićnoj hipertrofiji (<5 serija, 5-9 serija i iznad 10 serija, odnosno 5.4%, 6.6% i 9.8%) na temelju čega se može zaključiti kako je volumen primaran pokretač mišićne hipertrofije. I dalje je poprilično nejasno kakav efekt volumen ima na mišićnu masu ako on prelazi 10 radnih serija tjedno, te koja bi bila gornja granica. Iako je “dose-response” veza između volumena i mišićne hipertrofije itekako uvjerljiva, definitivno postoji gornja granica volumena nakon koje više ne dolazi do dodatnog mišićnog rasta, odnosno dolazi do stanja pretreniranosti. Isto tako, bitno je naglasiti da se prilikom istraživanja utjecaja volumena na mišićnu hipertrofiju analizira samo nekolicina mišićnih skupina, što bi značilo da se primjerice adaptacija mišića nogu na visoki volumen ne može izravno primijeniti i na ostatak muskulature (Schoenfeld, 2021).

Iako je trenažni volumen na tjednoj bazi poprilično istražen, volumen po pojedinačnom treningu ili vježbi još uvijek je nedovoljno istražen. Trenutne preporuke za volumen po pojedinoj vježbi kreću se u rasponu od 2 do 6 radnih serija. Početnicima se preporučuje volumen u donjoj granici raspona, dok se naprednijim vježbačima preporučuje raspon blizu gornje granice. Isto tako, prilikom odabira volumena za pojedinu vježbu treba imati na umu broj planiranih vježbi po specifičnoj mišićnoj skupini. U pojedinačnom treningu preporučuje se izvoditi od 6 do 8 serija po pojedinoj mišićnoj skupini za početnike, dok se za naprednije vježbače taj raspon kreće od 10 do 12 serija. Važno je napomenuti da se ove znanstvene preporuke temelje na prosjeku svih rezultata istraživanja, što znači da optimalan volumen ovisi od osobe do osobe te o tome koliko je pojedinačna serija bila intenzivna (Kreamer i suradnici, 2004).

Trening s opterećenjem s naglaskom na gornji dio tijela često sadrži visok volumen (više od 3 radne serije po mišićnoj skupini). Zanimljiva je činjenica da napredniji vježbači (među kojima su i profesionalni bodybuilderi) često promoviraju treninge izuzetno visokog volumena koji se kreće u rasponu od 6 do 20 radnih serija po mišićnoj skupini u pojedinom treningu te čak od 30 do 49 ukupnih serija u jednom treningu (Hackett i suradnici, 2013). Tolika količina volumena u pojedinačnom treningu nije znanstveno opravdana te je veoma upitna. U većini literatura preporučuje se trening visokog volumena za optimizaciju mišićne hipertrofije, no važno je napomenuti da najvjerojatnije donji dio tijela zahtijeva nešto veći volumen u odnosu na gornji dio tijela. Hanssen i suradnici (2013) prijavili su povećanje broja satelitskih stanica u opružacu potkoljenice (m. quadriceps femoris) nakon 11 tjedana treninga u skupini ispitanika koja je izvodila 18 serija po mišićnoj skupini tjedno u odnosu na 6 serija tjedno. Zanimljiva je činjenica da takvi rezultati nisu pronađeni kada je analiziran gornji dio tijela što su potvrdili i drugi radovi (Rønnestad i suradnici, 2007). Moguće objašnjenje za to jest da volumen ima veći hipertrofijski učinak na mišićnu masu nogu u odnosu na gornji dio tijela. Uspoređujući utjecaj “*single set*” i “*multi set*” rutina na izolirani gornji i donji dio tijela uočena je statistički značajna razlika u korist većeg volumena za donji dio tijela (11% u odnosu na 7%), dok za gornji dio tijela nisu pronađene statistički značajne razlike.

U istraživanju Ronnestada i suradnika (2007) sudjelovao je 21 ispitanik bez trenažnog iskustva, a cilj istraživanja bio je utvrditi utjecaj različitog trenažnog volumena na mišićnu hipertrofiju. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije grupe. Prva grupa (N=10) izvodila je 3 serije po vježbi za gornji dio tijela i jednu seriju po vježbi za donji dio tijela, dok je druga grupa (N=11) izvodila 3 serije po vježbi za gornji dio tijela te jednu seriju po vježbi za donji dio tijela. Trening se sastojao od 8 vježbi koje su se izvodile tri puta tjedno. Isto tako, trenažni volumen bio je izjednačen. Protokol je trajao 11 tjedana. Na početku i na kraju protokola izmjereni su sastavi tijela putem magnetske rezonance. Uočene su statistički značajne razlike ($p=0,01$) u mišićnoj hipertrofiji opružaca potkoljenice u korist grupe koja je izvodila 3 serije po vježbi za donji dio tijela (11% u odnosu na 7%, $P=0,01$), dok za gornji dio tijela (m. trapezius) nije utvrđena statistički značajna razlika između dviju grupa. Na temelju rezultata ovog istraživanja vidljivo je da miškulatura donjeg dijela tijela zahtijeva nešto veći volumen od gornjeg dijela tijela ako je cilj pojedinca maksimalna hipertrofija.

Nešto napredniji vježbači zahtijevaju veći volumen u odnosu na osobe bez trenažnog iskustva. Primjerice u istraživanju Hammarstroma i suradnika (2019) netrenirane osobe različito su reagirale na određeni trenažni volumen. Ispitanici su 12 tjedana izvodili 15 radnih serija za jednu nogu, a samo 5 radnih serija za drugu nogu. Na kraju istraživanja, 44% osoba je ostvarilo statistički značajno veću mišićnu hipertrofiju opružaca potkoljenice s većim volumenom, dok je 9% osoba ostvarilo veći rast s manjim volumenom. Zanimljiva je činjenica da je čak 47% ostvarilo podjednake rezultate za obje noge.

Individualizacija je od iznimne važnosti u treningu mišićne hipertrofije. U radu Scarpellija i suradnika (2020) utvrđen je statistički značajan mišićni rast nakon što su ispitanici povećali trenutni trenažni volumen koji su sami odredili za 20%, iz čega je vidljivo da je individualizacija u treningu mišićne hipertrofije od iznimne važnosti.

U cilju optimalne mišićne hipertrofije preporučuje se trening visokog volumena zato što uzrokuje veliku količinu mehaničke napetosti, metaboličkog stresa i mišićnog oštećenja. Svi prethodno navedeni mehanizmi imaju svoju određenu ulogu u aktiviranju anaboličkih procesa koji dovode do mišićnog rasta (Helms i suradnici 2014).

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Postaviti trenažni volumen u rasponu od 12 do 20 serija tjedno po mišićnoj skupini
- Trenažni volumen po pojedinoj vježbi držati u rasponu od 2 do 6 serija (ovisno o trenažnom iskustvu)
- Trenažni volumen po pojedinom treningu držati u rasponu od 6 do 12 serija (ovisno o trenažnom iskustvu i frekvenciji treninga)
- Nešto napredniji vježbači mogu povisiti svoj trenažni volumen za pojedine (inferiorne) mišićne skupine i iznad 20 serija tjedno, no tada je poželjno smanjiti trenažni volumen za ostale mišićne skupine
- U program treninga integrirati periode nižeg trenažnog volumena s ciljem adekvatnog oporavka

2.2. Opterećenje

Intenzitet, odnosno opterećenje u treningu mišićne hipertrofije smatra se jednom od najznačajnijih trenažnih varijabli. Opterećenje se najčešće izražava kao postotak od 1RM-a (eng. one-repetition maximum), odnosno opterećenja koje osoba može savladati samo jednom (Schoenfeld, 2021). Primjerice, ako osoba može maksimalno potisnuti 100 kilograma u vježbi potisak s ravne klupe (eng. bench press), a serije izvodi sa 70 kilograma, tada se navedeno opterećenje može izraziti kao 70% od 1RM-a. Opterećenje se može klasificirati u tri različita raspona. Teškim opterećenjima smatraju se opterećenja u rasponu od 1RM do 5RM, dok se srednjim opterećenjima smatraju ona u rasponu od 6RM do 15RM. Sve iznad 15RM smatra se laganim opterećenjem (Schoenfeld, 2021).

U sklopu ovog poglavlja važno je spomenuti i princip regrutacije motoričkih jedinica pod nazivom Hennemanov princip veličine (eng. *Henneman's size principle*). Hennemanov princip veličine nalaže da će se veće motoričke jedinice aktivirati kako zahtjevi za generiranjem sile rastu, što na kraju može rezultirati aktivacijom svih motoričkih jedinica (Mikulić i Marković, 2016).

Postoje brojne formule koje procjenjuju 1RM za pojedinu vježbu, no one mogu biti neprecizne zbog kombinacije brojnih faktora poput genetike i vrste vježbe. Formule posebice gube na preciznošću što je opterećenje niže (Schoenfeld, 2021). U istraživanju Hoegera i suradnika (1987) zapažene su velike varijabilnosti prilikom izvedbe maksimalnog broja ponavljanja određene vježbe s jednakim opterećenjem. U vježbama potisak sa šipkom s ravne klupe, povlačenje na prsa na trenažeru i ekstenzija potkoljenice na trenažeru ispitanici su prosječno izveli 10 ponavljanja s opterećenjem od 80% 1RM-a, dok su za fleksiju potkoljenice i podlaktice izveli u prosjeku od 6 do 8 ponavljanja. Isto tako, na vježbi nožni potisak prosječni broj ponavljanja iznosio je 15. U još jednome radu (Schoenfeld i suradnici, 2014) ispitanici su izvodili maksimalni broj ponavljanja na vježbi nožni potisak. S opterećenjem od 75% 1RM-a raspon izvedenih ponavljanja kretao se između 7 i 24, dok je za opterećenje od 30% 1RM-a taj raspon iznosio od 30 do čak 71 ponavljanje.

Doziranje opterećenja često se povezuje sa kontinuumom ponavljanja koji najčešće ima tri specifična cilja: 1 do 5 ponavljanja s opterećenjem od 80 do 100% 1RM optimizira mišićnu jakost, 8 do 12 ponavljanja s opterećenjem od 60 do 80% optimizira mišićnu hipertrofiju te sve iznad 15 ponavljanja (ispod 60% 1RM-a) razvija mišićnu izdržljivost. Navedeni kontinuum ponavljanja popularan je još od 1980-ih godina, no brojna nova znanstvena saznanja dokazuju da kontinuum ponavljanja nije tako jednostavan (Vieira, 2021).

U sustavom pregledu 2007. godine Wernbom i suradnici su zaključili kako se maksimalna mišićna hipertrofija ostvaruje kroz srednje teška opterećenja. Ova se hipoteza temelji na činjenici da srednje teška opterećenja uzrokuju optimalnu količinu mehaničke napetosti i metaboličkog stresa. Primjerice, teška opterećenja uzrokuju još veću količinu mehaničke napetosti, no s obzirom na to da radne serije s visokim opterećenjem traju kratko (<15 sekundi) metabolički stres neće biti prisutan jer će se resinteza ATP-a dogoditi primarno iz kreatin-fosfatnog sustava, odnosno proces anaerobne glikolize bit će minimalan te će tako akumulacija metabolita biti niska. Kod niskih opterećenja mehanizmi su suprotni. Iako će niska opterećenja uzrokovati iznimno veliku količinu metaboličkog stresa, smatra se da takva opterećenja neće biti u mogućnosti aktivirati sve motoričke jedinice. To može negativno utjecati na mišićni rast. Srednje teška opterećenja smatraju se optimalnim iz razloga što omogućuju visoku razinu mehaničke tenzije i metaboličkog stresa. Radne serije sa srednje teškim opterećenjima traju u prosjeku između 20 i 40

sekundi zbog čega je nužan proces anaerobne glikolize. Zbog navedenih faktora srednje teška opterećenja smatraju se tzv. bodybuilding rasponom ponavljanja (Schoenfeld, 2021).

U istraživanju Kuba i suradnika (2020) proučavan je utjecaj različitog broja ponavljanja na mišićnu hipertrofiju. Ispitanici su bili podijeljeni u 4 skupine: Skupina s visokim opterećenjem (4RM) sastojala se od 10 osoba, skupina sa srednje teškim opterećenjem (8RM) sastojala se 12 osoba te skupina sa nižim opterećenjem (12RM) koju je činilo 10 osoba. Četvrtu skupinu činila je kontrolna grupa koja se sastojala od 10 osoba. Volumen između grupa bio je izjednačen, a trening se provodio 2 puta tjedno kroz period od 10 tjedana. Na kraju intervencije nisu uočene statistički značajne razlike u hipertrofiji mišića (*m. pectoralis major*) između grupa.

Niža opterećenja, odnosno veći broj ponavljanja mogu uzrokovati jednaku količinu mišićne hipertrofije kao i srednje teška opterećenja pod uvjetom da se radne serije izvode vrlo intenzivno, odnosno do mišićnog otkaza ili vrlo blizu mišićnog otkaza.

Na temelju rezultata sustavnog pregleda Viere i suradnika (2021) nisu uočene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji između niskih, srednjih i teških opterećenja. Neki autori smatraju da trening s nižim opterećenjem uzrokuje hipertrofiju mišićnih vlakana I, dok veća opterećenja uzrokuju isključivo hipertrofiju mišićnih vlakana tipa II. No na temelju istraživanja Schoenfelda i suradnika (2020) utvrđeno je da su laka i teška opterećenja uzrokovala sličnu mišićnu hipertrofiju *m. soleusa* koji dominantno sadrži spora mišićna vlakna i *m. gastrocnemiusa* koji sadrži podjednaki omjer sporih i brzih mišićnih vlakana. Na temelju rezultata meta-analize (Grgić, 2020) zaključeno je da nema razlike u mišićnoj hipertrofiji mišićnih vlakana tipa I i II primjenom lakih ili teških opterećenja.

Na temelju sustavnog pregleda (Lopez, 2020) u koji je uključeno 28 radova te preko 700 ispitanika nisu uočene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji korištenjem niskih, srednjih ili visokih opterećenja ($P = 0.113\text{--}0.469$). Može se zaključiti da je mišićna hipertrofije neovisna o opterećenju uz pretpostavku da su serije izvedene do mišićnog otkaza.

U radu Laseviciusa i suradnika (2019) istraživao je utjecaj malih i velikih opterećenja na mišićnu hipertrofiju. Nakon perioda od 8 tjedana uočeno je da su sve grupe statistički značajno povećale poprečni presjek mišića osim grupe s niskim opterećenjem koja radne serije nije izvodila do mišićnog otkaza. Na temelju ovih rezultata vidljivo je da je intenzitet napora vrlo važan faktor

prilikom implementiranja niskih opterećenja u treningu mišićne hipertrofije. Isto tako, uočeno je da serije s visokim opterećenjem ne moraju nužno biti izvedene do mišićnog otkaza.

U istraživanju Mitchella i suradnika (2012) 18 mladih muškaraca s trenažnim iskustvom nasumično su bili podijeljeni u dva od tri potencijalna protokola: 3 serije unilateralne ekstenzije s 30% 1RM, 3 serije unilateralne ekstenzije koljena s 80% 1RMa ili 1 serija s 80% 1RMa. Intervencija je trajala 10 tjedana s tri treninga tjedno. Na kraju perioda od 10 tjedana nisu uočene statistički značajne razlike u hipertrofiji m. vastus lateralis između grupa.

U istraživanju koje su proveli Schoenfeld i suradnici 2015. godine proučavan je utjecaj niskog i visokog opterećenja na mišićnu hipertrofiju. 18 mladih muškaraca s trenažnim iskustvom podijeljeno je u dvije grupe. Prva grupa vježbe je izvodila u rasponu ponavljanja od 25 do 35, dok je druga grupa izvodila vježbe u rasponu od 8 do 12 ponavljanja. Istraživanje je trajalo 8 tjedana s tri treninga tjedno u kojem su izvodili 7 različitih vježbi (trening cijelog tijela). Obje su grupe statistički značajno povećale poprečni presjek opružača podlaktice, pregibača podlaktice i opružača potkoljenice, bez statistički značajnih razlika između grupa. Rezultati ovog istraživanja upućuju da visoka ali i niska opterećenja mogu biti efikasna ako je cilj pojedinca mišićna hipertrofija, uz uvjet da se serije izvode uz visok intenzitet napora.

U istraživanju koje su proveli Schoenfeld i suradnici (2014) nisu uočene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji implementacijom visokog (93% 1RM) i niskog (67% 1RM) opterećenja. Potencijalno obrazloženje za ovakve rezultate jest da je grupa s niskim opterećenjem ostvarila značajno veći metabolički stres pomoću kojeg je nadoknadila nedostatak mehaničke napetosti koju je imala grupa s visokim opterećenjem.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Implementirati široki raspon ponavljanja (1RM do 30 RM)
- Prilikom primjene niskih opterećenja nužno je približiti se ili doseći mišićni otkaz

2.3. Frekvencija

Frekvencija treninga predstavlja broj odrađenih treninga u nekom vremenskom periodu, najčešće tjednu. U treningu mišićne hipertrofije frekvencija treninga uključuje i učestalost stimuliranja pojedine mišićne skupine. Manipulacijom frekvencije treninga može se znatno utjecati na ukupni trenažni volumen koji se izvrši tijekom određenog vremenskog perioda. U bodybuilding svijetu vrlo je popularan trening kojeg karakterizira visok volumen, a niska frekvencija treninga koja rezultira stimuliranjem pojedine mišićne skupine samo jednom tjedno (Schoenfeld, 2021). Na temelju istraživanja Hacketta i suradnika (2013), čak dvije trećine profesionalnih bodybuildera svaku mišićnu skupinu trenira samo jednom tjedno (implementiraju tzv. “*brosplit*” rutinu). Isto tako, niti jedna osoba nije prijavila da pojedine mišićne skupine trenira više od dva puta tjedno ili da prakticira trening cijelog tijela. Povećavanje frekvencije, odnosno raspodjela volumena na veći broj manjih treninga može biti efektivna strategija za akumuliranje manjeg umora po pojedinačnom treningu (Schoenfeld, 2021).

Frekvencija treninga jedan je od načina organiziranja trenažnog volumena. Povećavajući frekvenciju treninga moguće je znatno povećati ukupni trenažni volumen ako se volumen pojedinačnog treninga drži statičkim. Čak i ako se određeni volumen podijeli na više treninga, postoji mogućnost da će se taj volumen odraditi s nešto manje akumuliranog umora organizma. Važno je napomenuti da je frekvencija treninga usko vezana uz ukupni volumen unutar pojedinačnog treninga, što bi značilo da pojedinačni trening visokog volumena zahtijeva nešto nižu frekvenciju na tjednoj bazi, dok bi pojedinačni trening niskog volumena zahtijevao upravo suprotno (Helms i suradnici, 2014).

Opća preporuka za trening mišićne hipertrofije je odmoriti najmanje 48 sati prije ponovnog stimuliranja prethodno trenirane mišićne skupine, posebice ako je trening sadržavao visok trenažni volumen. Nakon treninga s otporom sinteza proteina u mišićima može biti povišena 48 sati, a u nekim slučajevima i do 72 sata. Izvođenje treninga prije potpunog oporavka mišićne skupine može znatno narušiti sintezu proteina u mišićima. Frekvencija treninga može značajno utjecati i na količinu oštećenja mišićnih vlakana pojedine mišićne skupine. Ponekad nakon treninga visokog volumena potrebno je između 48 i 72 sata odmora da se mišićna skupina adekvatno oporavi, odnosno da se oštećena mišićna vlakna regeneriraju te da dođe do ciljanih adaptacija (Schoenfeld, 2021).

U meta analizi (Schoenfeld i suradnici, 2018) koja je proučavala izravan utjecaj visoke i niske frekvencije treninga na mišićnu hipertrofiju nisu utvrđene značajne razlike između visoke i niske frekvencije, bez obzira je li se mišićna skupina trenirala 1, 2, 3 ili 4 puta tjedno (kod radova s izjednačenim trenažnim volumenom). U radovima u kojima volumen između frekvencija nije bio izjednačen uočene su značajne razlike u korist treninga visoke frekvencije (do tri puta tjedno). Na temelju navedenih rezultata vidljivo je da frekvencija nema veliki utjecaj na mišićnu hipertrofiju, no svojom manipulacijom može poprilično utjecati na ukupni trenažni volumen koji je glavni pokretač mišićne hipertrofije. Značaj raspodjele volumena putem visoke frekvencije dolazi do važnosti ako osoba implementira trening visokog trenažnog volumena. Kao što je spomenuto u prethodnom poglavlju, maksimalni volumen za mišićnu skupinu po pojedinačnom treningu prosječno se kreće oko 10 radnih serija. To bi značilo da ako osoba tijekom tjedna izvodi 20 radnih serija za neku mišićnu skupinu poželjno je tjedni volumen podijeliti na primjerice dva treninga što će značiti da će osoba imati dva treninga koja se sastoje od 10 radnih serija za tu određenu mišićnu skupinu. To može dovesti do mnogo kvalitetnijeg volumena i značajnijih adaptacija u odnosu na jedan trening koji sadrži 20 radnih serija.

Sve su popularnije “*double-split*” rutine u kojima se trenažni volumen podijeli na jutarnji i večernji trening, a nerijetko ju koriste bodybuilderi kako bih imali što veći i što kvalitetniji trenažni volumen. Rad Hakkinena i suradnika (1994) podržava “*double-split*” treninge. Žene s trenažnim iskustvom prakticirale su “*double-split*” rutine dva trenažna bloka u trajanju od tri tjedna. Prva tri tjedna provodile su 3 treninga tjedno, dok su druga tri tjedna provodile 6 manjih treninga. Volumen je bio izjednačen. Uočena je statistički značajna razlika u poprečnom presjeku mišića u korist “*double-split*” rutina ($p = >0,05$). Na temelju ovih rezultata može se tvrditi kako podjela treninga na dva manja može imati korist u ostvarenju većeg mišićnog rasta. No u radu Hartmana i suradnika (2007) utvrđeno je da je jedan trening uzrokovao malo veći mišićni rast u odnosu na podjelu istog na dva manja treninga. Nisu utvrđene statistički značajne razlike. Važno je napomenuti da su oba rada trajala poprilično kratko što otežava mogućnost donošenja praktičnih zaključaka. “*Double-split*” rutine dakle predstavljaju moguću opciju za trening mišićne hipertrofije, osobito ako osoba može takvu strategiju treninga uvrstiti u svoj svakodnevni život (Schoenfeld, 2021).

Brojni autori smatraju da vrlo visoka frekvencija treninga s niskim volumenom može optimizirati mišićnu hipertrofiju s obzirom na to da će takav način treninga osiguravati konstantan anabolizam, posebice kod naprednijih vježbača kod kojih se sinteza proteina u mišićima podiže u nižoj mjeri u odnosu na početnike. U istraživanju Šarića i suradnika (2018) proučavan je utjecaj visoke u odnosu na nisku frekvenciju treninga. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije grupe. Prva grupa izvodila je 4 serije 3 puta tjedno, dok je druga skupina izvodila 2 serije 6 dana tjedno. Ispitanici su izvodili osnovne i izolirajuće vježbe, a svaka vježba je izvođena do mišićnog otkaza (RPE – 10). Na temelju rezultata uočena je podjednaka mišićna hipertrofija u području opružaca podlaktice i koljena, dok su pregibači podlaktice kod grupe niže frekvencije ostvarili nešto veći rast. S obzirom na to da najvjerojatnije postoji prag trenažnog volumena u pojedinačnom treningu iznad kojeg nema dodatne stimulacije mišićnog rasta, bilo bi efikasnije tjedni trenažni volumen podijeliti na nekoliko treninga radi optimizacije sinteze proteina u mišićima što u konačnici može rezultirati većim mišićnom rastom.

Na temelju rezultata meta-analize (Schoenfeld, 2016) trening visoke frekvencije značajnije je utjecao na mišićnu hipertrofiju u usporedbi s treningom niske frekvencije (6.8% za visoku frekvenciju i 3.9% za nisku frekvenciju). Uspoređujući utjecaj frekvencije na izolirani gornji i donji dio tijela uočen je potencijal u korist visoke frekvencije za donji dio tijela ($p=0,08$).

Na temelju istraživanja koje je proveo Barcelos i suradnici (2018) nisu pronađene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji između treninga različitih trenažnih frekvencija (2, 3 i 5 puta tjedno), $p > 0,05$. U istraživanju koje su proveli Briggato i suradnici 2019. godine proučavan je utjecaj različite trenažne frekvencije na razvoj mišićne hipertrofije. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije skupine. Prva skupina trenirala je pojedinu mišićnu skupinu jednom tjedno dok je druga skupina trenirala dva puta tjedno. Trenažni volumen bio je izjednačen (16 radnih serija tjedno). Na kraju perioda od 8 tjedana nisu uočene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji opružaca i pregibača podlaktice te opružaca potkoljenice. No iako na temelju ovoga istraživanja nisu pronađene statistički značajne razlike bilo bi poželjno trenažni volumen podijeliti na 2 treninga tjedno što će pojedinačni trening učiniti manje energetski zahtjevnim te omogućiti nešto kvalitetniji ukupni tjedni trenažni volumen.

Na temelju istraživanja Šarića i suradnika (2018) koje je proučavalo utjecaj različitih frekvencija (3 puta tjedno u odnosu na 6 puta tjedno) na mišićnu hipertrofiju nisu uočene statistički značajne

razlike između dviju analiziranih frekvencija za poprečni presjek pregibača podlaktice, opružača podlaktice te opružača potkoljenice. Volumen između grupa bio je izjednačen, a promjene u mišićnoj hipertrofiji analizirane su pomoću ultrazvuka. Jedino je grupa s nižom frekvencijom statistički značajno povećala poprečni presjek pregibača podlaktice, uspoređujući ga prije i nakon intervencije. Na temelju rezultata ovog istraživanja može se tvrditi kako frekvencija od 3 puta tjedno dovodi do vrlo sličnih rezultata kao i frekvencija od 6 puta tjedno, odnosno da su obje frekvencije jednako učinkovite.

U istraživanu Schoenfelda i suradnika (2015) proučavan je utjecaj niske i visoke frekvencije na mišićni rast. 20 muških ispitanika s trenažnim iskustvom bili su podijeljeni u 2 grupe: grupa s niskom frekvencijom ($n=10$) koja je implementirala tzv. “*split rutine*” te grupa s visokom frekvencijom ($n=10$) koja je provodila treninge cijelog tijela 3 puta tjedno. Na kraju perioda u trajanju od 8 tjedana uočene su statistički značajne razlike u korist grupe visoke frekvencije za pregibače podlaktice (4.4 % u odnosu na 6,5%, $p<0,001$). Isto tako, uočene su razlike u mišićnoj hipertrofiji opružača podlaktice i koljena u korist grupe s visokom frekvencijom, no razlike nisu bile statistički značajne.

Na temelju rezultata istraživanja Zaronija i suradnika (2019.) u kojemu je proučavan utjecaj niske i visoke frekvencije na mišićnu hipertrofiju uočena je statistički značajna razlika u hipertrofiji pregibača podlaktice i opružača potkoljenice u korist visoke frekvencije ($p<0,05$). Moguće je tvrditi kako visoka frekvencija treninga može potencijalno optimizirati mišićni rast u odnosu na nisku frekvenciju treninga. Visoka frekvencija treninga je praktičan način za postizanje većeg tjednog trenažnog volumena što može biti ključna strategija pri optimizaciji mišićnih prilagodbi.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Stimulirati pojedinu mišićnu skupinu najmanje dva puta tjedno, posebno ako trening sadrži visok volumen
- Formirati treninge s ciljem stimuliranja određenih mišićnih skupina (npr. gornji-donji dio tijela, potisci-privlačenja, itd.) ili prakticirati treninge cijelog tijela s visokom frekvencijom treninga

2.4. Intenzitet napora

Količinu napora koju osoba vrši tijekom treninga s otporom predstavlja intenzitet napora. Intenzitet napora najčešće je procijenjen subjektivnim osjećajem opterećenja (RPE ljestvica od 1 do 10), odnosno brojem ponavljanja u rezervi na kraju serije (Schoenfeld, 2021).

U cilju maksimalizacije neuromuskularnih adaptacija često se preporučuje trenirati do mišićnog otkaza, no nužnost treninga do mišićnog otkaza je i dalje poprilično neistražena. Isto tako, moguće je tvrditi da treniranje blizu mišićnog otkaza (1 do 2 ponavljanja) može biti optimalna stimulacija čak i kod osoba s trenažnim iskustvom. Najveći razlog zašto bi trening do mišićnog otkaza mogao biti opravdan jest taj da mišićni otkaz uzrokuje maksimalnu aktiviranost motoričkih jedinica koja je važna u procesu mišićne hipertrofije. Osim toga, trening do mišićnog otkaza može uzrokovati značajan metabolički stres. Razina aktivnosti motoričkih jedinica ovisi i o opterećenju, no čak i vrlo niska opterećenja (30% 1RM) mogu uzrokovati aktivaciju svih motoričkih jedinica ako je serija izvedena do mišićnog otkaza. Stoga intenzitet napora ima vrlo važnu ulogu pri implementaciji manjih opterećenja. Isto tako, približavanjem mišićnom otkazu proporcionalno se povećava i EMG aktivacija mišića agonista (Schoenfeld, 2021).

Smatra se da je trening s otporom nužno izvoditi do mišićnog otkaza kako bih se aktivirale sve motoričke jedinice mišića. No u suprotnosti s prethodno navedenim postoje brojni radovi koji pokazuju da trening do mišićnog otkaza nije nužan u cilju maksimalizacije mišićne hipertrofije. Isto tako, neki radovi napominju da trening do mišićnog otkaza može imati negativan utjecaj na mišićni rast zato što može uzrokovati stanje pretreniranosti, posebno kod početnika (Vieira i suradnici, 2020).

U istraživanju Gota i suradnika (2005) uočena je veća mišićna hipertrofija u grupi ispitanika koja je serije izvodila do mišićnog otkaza u odnosu na grupu koja je na polovici serija implementirala interval odmora u iznosu od 30 sekundi. Iako pauza na polovici serije nije tradicionalni način treninga s otporom opterećenjem, vidljivo je kako neizvođenje serije do mišićnog otkaza može nepovoljno utjecati na mišićni rast.

U radu Martorellia i suradnika (2017) skupina žena koja je izvodila biceps pregib do mišićnog otkaza ostvarila je statistički značajno veću mišićnu hipertrofiju pregibača podlaktice u odnosu na skupinu žena koja je stala sa serijom nekoliko ponavljanja prije mišićnog otkaza (17.5% u odnosu na 8.5%)

Na temelju rezultata sustavnog pregleda i meta-analize (Vieira i suradnici, 2020) utvrđeno je da trening do otkaza uzrokuje sličnu mišićnu hipertrofiju kao i trening bez otkaza (nekoliko ponavljanja do mišićnog otkaza. Isto tako, uočen je potencijalni benefit treniranja do mišićnog otkaza za osobe s trenažnim iskustvom. U novijem sustavnom pregledu (Vieira i suradnici, 2021) uočena je korist treninga do mišićnog otkaza kada volumen između grupa nije bio izjednačen, no s izjednačenim volumenom nisu pronađene statistički značajne razlike u treningu do otkaza ili bez.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Tijekom svake radne serije približiti se mišićnom otkazu (1 do 2 ponavljanja)
- Implementirati trening do mišićnog otkaza samo na izolirajućim vježbama koje imaju veliku dozu sigurnosti, dok je na osnovnim vježbama poželjno ostaviti nekoliko ponavljanja u rezervi na kraju svake serije

2.5. Interval odmora

Interval odmora predstavlja vrijeme koje je posvećeno oporavku između serija i/ili vježbi. Intervali odmora mogu se podijeliti u tri kategorije: kratki odmori (<30 sekundi), srednje dugi odmori (60 do 90 sekundi) i dugi odmori (> 3 minute) (Schoenfeld, 2021). Pauza između serija može biti ključna varijabla u treningu s otporom zato što izravno utječe na umor, odnosno oporavak, a samim time i na performanse. Adekvatan odmor između serije nužan je kako bi došlo do adekvatne obnove kreatin-fosfatnog sustava te kako bi se uklonili razni metaboliti poput vodikovih iona i laktata iz krvi. Nedovoljni oporavak može negativno utjecati na performanse zato što značajno nakupljanje metabolita može onemogućiti optimalno generiranje sila u samome mišiću. Iako kratke pauze omogućavaju veliku razinu metaboličkog stresa, one će negativno utjecati na ukupni trenažni volumen. Duže serije omogućit će veći ukupni volumen, no implementiranje dužih serija u treningu može značajno produljiti vrijeme treninga. (Grgić i suradnici, 2017)

Trajanje intervala odmora može imati značajan akutni utjecaj na trening s otporom a time i na kronične adaptacije. U istraživanju Ratamessa i suradnika (2007) uočeno je da primjena kratkih odmora (manje od 30 sekundi) rezultira nakupljanjem metabolita u mišićima i padom ukupnog trenažnog volumena (preko 50%). Kraći intervali odmora povećat će magnitudu metaboličkog stresa, no doći će do značajnog pada trenažnog volumena, odnosno mehaničke napetosti, koja ipak ima nešto veću važnost kao glavni mehanizam mišićne hipertrofije. U suprotnosti s kratkim intervalima odmora, duge pauze omogućit će gotovo konstantan volumen iz serije u seriju. Isto tako, tijekom dužih intervala odmora gotovo će svi metaboliti biti uklonjeni. Smatra se da su srednje dugi odmori (oko 90 sekundi) optimalni za mišićni rast zato što će omogućiti konstantan trenažni volumen ali i dovoljnu količinu metaboličkog stresa (Schoenfeld, 2021).

U istraživanju Ahtaiena i suradnika (2005) proučavao se utjecaj kratkih i dugih intervala odmora na mišićnu hipertrofiju. U istraživanje je bilo uključeno 13 ispitanika s trenažnim iskustvom. Protokol se sastojao od dva perioda u trajanju od 3 mjeseca u kojima se sve trenažne varijable osim intervala odmora bile jednake. Prva tri mjeseca interval odmora trajao je 2 minute, a druga tri mjeseca interval odmora trajao je 5 minuta. Promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću magnetske rezonance. Nisu uočene statistički značajne razlike između intervala odmora

u trajanju od 2 i 5 minuta ($1,8 \pm 4,7\%$ za interval odmora od dvije minute i $1,8 \pm 3,6\%$ za interval odmora od pet minuta).

U istraživanju Schoenfelda i suradnika (2016) proučavani su efekti kratkog (1 minuta) i dugog (3 minute) intervala odmora na mišićnu hipertrofiju. Protokol je trajao 8 tjedana tijekom kojeg su ispitanici ($n=21$) provodili treninge cijelog tijela tri puta tjedno. Na kraju perioda od 8 tjedana uočene su statistički značajne razlike u hipertrofiji opružača koljena u korist dužeg intervala odmora ($p=0,04$) i opružača podlaktice bez statističke značajnosti ($p=0,06$). Na temelju ovih rezultata može se zaključiti da su dulji intervali odmora superiorniji od kratkih intervala odmora ako je cilj pojedinca mišićna hipertrofija.

U sustavnom pregledu Grgića i suradnika (2017) analizirani su efekti duljine intervala odmora na mišićnu hipertrofiju. Na temelju rezultata analize šest radova koji su bili uključeni u sustavni pregled utvrđeno je kako su kratki (<60 sekundi) i dugi (>60 sekundi) intervali odmori podjednako efektivni za ostvarivanje mišićnog rasta ($9,2 \pm 0,1\%$ i $5,8 \pm 1,1\%$ za duže i kraće intervale odmora u korist dugog intervala odmora, $p=0,22$). Ako trening sadrži visok volumen preporučuje se korištenje nešto dužih intervala odmora, no to još ovisi o faktorima poput izbora vježbe i intenzitetu napora. Izbor vježbe jedan je od glavnih faktora prilikom odabira adekvatnog intervala odmora. Osnovne, odnosno višezglobne vježbe zahtjevnije su i izazivaju veću količinu umora stoga se prilikom izvedbe osnovnih vježbi preporučuje nešto dulji interval odmora. U suprotnosti s osnovnim vježbama, izolirajuće vježbe manje su zahtjevne za organizam i izazivaju znatno manju količinu umora. Upravo zato, prilikom izvedbe izolirajućih vježbi može biti korisno implementirati kraće intervale odmora s ciljem akumulacije što veće količine metaboličkog stresa.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Implementirati intervale odmora u trajanju od minimalno 2 minute
- Na izolirajućim vježbama potencijalno skratiti interval odmora s ciljem što veće akumulacije metaboličkog stresa

2.6. Vrsta mišićne akcije

Skeletni mišićni generiraju silu koja rezultira napetošću unutar tetiva mišića. Napetost unutar tetive mišića se zatim prenosi na kost koja je hvatište tog mišića. Generiranjem i prijenosom napetosti s mišića, odnosno tetive na kost dolazi do osnovnog pokreta (Mikulić i Marković, 2016).

Skeletni mišići vrše sljedeće akcije:

- Izotonička mišićna akcija je akcija tijekom koje mišić u dinamičkom režimu održava jednaku napetost tijekom kontrakcije. Važno je napomenuti da je u praksi, tijekom izvedbe pokreta napetost mišića rijetko konstantna. Na navedenu napetost utječu brojni čimbenici poput dužine mišića i kuta u zglobu. Izotonička mišićna akcija može se podijeliti na koncentričnu i ekscentričnu mišićnu akciju. Koncentričnu mišićnu akciju karakterizira skraćivanje mišića, a ekscentričnu izduživanje mišića.
- Izometrička mišićna akcija predstavlja akciju pri kojoj se mišić skraćuje a tetiva izdužuje, odnosno ukupna duljina sustava mišić-tetiva ostaje jednaka. Izometričku mišićnu akciju karakterizira statički režim rada.
- Izokinetička mišićna akcija je akcija pri kojoj dolazi do skraćivanja mišića pri konstantnoj brzini u punom opsegu pokreta. Izokinetičku mišićnu akciju je zapravo nemoguće izvesti bez posebne tehnologije (izokinetički uređaj) (Mikulić i Marković, 2016).

Kinestetički receptori unutar mišića nisu osjetljivi samo na trajanje podražaja i stimulaciju nego i na vrstu mišićne akcije. S obzirom na to da je ekscentrična mišićna akcija znatno jača od koncentrične (20% do 50%) logično je razmišljati da ekscentrična mišićna akcija uzrokuje i najveći anabolički odgovor u odnosu na izometričku i koncentričnu mišićnu akciju. Isto tako, generirane sile u ekscentričnoj mišićnoj akciji otprilike su 45% veće nego li u koncentričnoj mišićnoj akciji te su čak dvostruko veće u odnosu na izometričku mišićnu akciju. Potencijalne prednosti ekscentrične mišićne akcije leže u tome da ekscentrična faza pokreta izaziva znatno veće mišićno oštećenje, jedno od glavnih mehanizama mišićne hipertrofije. Do većeg mišićnog oštećenja u ekscentričnoj mišićnoj akciji dolazi najvjerojatnije zbog znatno većih sila koje djeluju

na pojedino aktivirano mišićno vlakno što uzrokuje disrupciju istih u pokušaju sprječavanja dodatnog izduženja. Brojni su radovi istraživali anabolički utjecaj izoliranih mišićnih akcija, no rezultati su nejasni. Pojedini radovi su prijavili nešto izraženije anaboličke signalne puteve i sintezu proteina u mišićima nakon ekscentričnog treninga, dok drugi radovi ukazuju na to da nema razlika između koncentrične i ekscentrične mišićne akcije (Schoenfeld, 2021). Zanimljiva činjenica koja je primijećena u radu Franchija i suradnika (2017) jest ta da koncentrična i ekscentrična mišićna akcija uzrokuju različite morfološke promjene na razini mišićnog snopa, odnosno mišićnog vlakna. Uočeno je da ekscentrična mišićna akcija uzrokuje značajno veće produljenje mišićnih snopova (12% u odnosu na 5%), dok koncentrična mišićna akcija uzrokuje veću promjenu kuta penacije (eng. pennation angle), tj. kuta između mišićnih vlakana i tetiva istog mišića (30% u odnosu na 5%) (Schoenfeld, 2021).

Brojni su radovi potvrdili kako ekscentrična mišićna akcija može uzrokovati znatno veću mišićnu hipertrofiju u odnosu na koncentričnu mišićnu akciju. Razlog vjerojatno leži u tome da se tijekom ekscentrične mišićne akcije događaju značajno veće mehaničke sile unutar samog mišića. Problem u najvećem broju istraživanja kojima je bio cilj istražiti utjecaj izolirane koncentrične ili ekscentrične mišićne akcije na mišićni rast je u tome što volumen između proučavanih mišićnih akcija nije bio jednak, odnosno ekscentrični trening uvijek je rezultirao većem volumenu, ključnoj varijabli za mišićni rast. Stoga se zapravo ne zna je li ekscentrična mišićna akcija superiornija radi veće mehaničke napetosti ili samo radi većeg ukupnog rada (Maeo i suradnici, 2018).

Već je duže vrijeme poznato da skeletni mišićni mogu generirati znatno veću silu u ekscentričnoj mišićnoj akciji u odnosu na koncentričnu, no tek se od nedavno istražuje uzrokuju li različite mišićne akcije i različite neuromuskularne adaptacije, posebice kod osoba s trenažnim iskustvom. U istraživanju Viknea i suradnika (2006) sudjelovalo je 17 muškaraca s trenažnim iskustvom. Istraživani su efekti izolirane koncentrične i ekscentrične mišićne akcije na mišićni rast. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije grupe: koncentrična mišićna akcija ($n=8$) i ekscentrična mišićna akcija ($n=9$). Protokol je trajao 12 tjedana, a treninzi su se provodili 2 do 3 puta tjedno. Na kraju istraživanja uočene su statistički značajne razlike u mišićnom rastu između ekscentrične i koncentrične mišićne akcije (11% u odnosu na 3%, $p=0,004$).

U istraživanju koje su proveli Franchi i suradnici (2014) sudjelovalo je 12 mladih muškaraca bez trenažnog iskustva. Cilj istraživanja bio je usporediti utjecaj izolirane koncentrične i ekscentrične mišićne akcije na mišićnu hipertrofiju. Protokol je trajao 10 tjedana tijekom kojeg su nasumično podijeljeni ispitanici izvodili samo koncentričnu ili ekscentričnu mišićnu akciju na vježbi nožni potisak. Promjene u mišićnoj hipertrofiji analizirane su pomoću magnetske rezonance. Iako je grupa koja je izvodila samo ekscentričnu mišićnu akciju imala znatno veći volumen u odnosu na grupu koja je izvodila samo koncentričnu mišićnu akciju, rezultati u hipertrofiji opružača potkoljenice (m. vastus lateralis) bili su podjednaki (8% za koncentričnu i 6% za ekscentričnu mišićnu akciju). Ekscentrična mišićna akcija uzrokovala je veće produljenje mišićnih snopova dok je koncentrična mišićna akcija uzrokovala povećanje kuta mišićnih vlakana. Na temelju ovoga istraživanja može se zaključiti kako su koncentrična i ekscentrična mišićna akcije podjednako efektivne za ostvarivanje mišićnog rasta, no uzrokuju različite promjene u arhitekturi mišića. Ekscentrična mišićna akcija uzrokuje pripajanje sarkomera u serijama, dok koncentrična mišićna akcija u paralelama. Slično je utvrđeno i u radu Smitha i suradnika (1995) u kojem nisu uočene statistički značajne razlike u hipertrofiji opružača potkoljenice između izolirane ekscentrične i koncentrične mišićne akcije.

U istraživanju koje su proveli Maeo i suradnici (2018) istraživao je utjecaj koncentrične i ekscentrične mišićne akcije na mišićnu hipertrofiju. Iako je trenažni volumen bio izjednačen, ekscentrična mišićna akcija uzrokovala je statistički značajno veću mišićnu hipertrofiju od koncentrične mišićne akcije (+4+-3 % u odnosu na 0+-2%, $p < 0,001$).

U meta-analizi Schoenfelda i suradnika (2017) analizirani su efekti koncentrične i ekscentrične mišićne akcije na mišićnu hipertrofiju. U meta-analizu bilo je uključeno ukupno 15 radova, a rezultati su pokazali kako je ekscentrična mišićna akcija superiornija od koncentrične mišićne akcije u poticanju mišićnog rasta (10+-1,7% u odnosu na 6,8+-1,4%). Nisu uočene statistički značajne razlike između analiziranih mišićnih akcija ($p=0,076$).

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- U programu treninga implementirati koncentričnu i ekscentričnu (izotoničku) mišićnu akciju

2.7. Trajanje ponavljanja

Trajanje ponavljanja predstavlja ukupno trajanje koncentrične, ekscentrične i izometričke mišićne akcije tijekom izvedbe jednog ponavljanja, a zasniva se na tempu. Tempo se izražava kao troznamenkasti broj koji predstavlja vrijeme (sekunde) potrebno za izvršavanje izotoničke mišićne akcije (prema redoslijedu koncentrična – izometrička – ekscentrična mišićna akcija). Primjerice, tempo koji je izražen 2-1-4 podrazumijeva trajanje koncentrične mišićne akcije u trajanju od 2 sekunde, izometričke mišićne akcije u trajanju 1 sekundu i ekscentrične mišićne akcije u trajanju od 4 sekunde. Ukupno trajanje jednog ponavljanja ovim tempom traje 7 sekundi. Na tempo je moguće voljno utjecati, no to ovisi o opterećenju i umoru pojedinca. Potrebno je duže vrijeme za savladati veća opterećenja, posebno tijekom koncentrične mišićne akcije. Akutni umor lokalne mišićne skupine rezultirat će usporavanjem ponavljanja zato što mišićna vlakna neće biti u mogućnosti održavati konstantno generiranje sile. Niža opterećenja moguće je savladati znatno brže, ali približavanjem mišićnom otkazu tijekom radne serije značajno će se usporiti izvedba pojedinog ponavljanja (Schoenfeld, 2021). U istraživanju (Mookerjee i suradnici, 1999) u kojem je cilj bio izvesti koncentričnu mišićnu akciju maksimalno brzo izvedba prva tri ponavljanja u vježbi potisak s ravne klupe trajala su u rasponu od 1,2 do 1,6 sekundi, dok je izvedba četvrtog i petog ponavljanja trajala u rasponu od 2,5 do 3,3 sekunde.

Tempo izvedbe određene vježbe može utjecati na razinu mišićne aktivacije. U istraživanju Keogha i suradnika (1999) ispitanici su izvodili potisak sa šipkom s ravne klupe s dva različita tempa do mišićnog otkaza. Jedna grupa vježbu je izvodila tempom 5-0-5, dok je druga grupa pokušala savladati opterećenje maksimalnom brzinom. Uočena je statistički značajno veća aktivacija (m. pectoralis major) kod grupe koja je vježbu izvodila maksimalno brzo ($p < 0,05$). Na temelju rezultata ovog istraživanja može se tvrditi da prekomjerno voljno usporavanje koncentrične i ekscentrične mišićne akcije može biti nepovoljno za maksimizaciju mišićne aktivacije.

Važno je spomenuti i popularni koncept pod nazivom TUT, odnosno vrijeme pod napetošću (eng. time under tension) koji se smatra vrlo važnom varijablom te je izravno povezan s tempom. Vrijeme pod tenzijom definira se kao ukupna količina vremena tijekom koje je mišić bio u

aktivnom režimu, odnosno tijekom kojeg je savladavao mehanički stres. TUT ne uzima u obzir trajanje pojedinog ponavljanja kao i tempo, već samo ukupno vremensko trajanje serije. Iako TUT nema snažnu znanstvenu potporu, preporučuje se da bi serije trebale imati TUT u trajanju od 40 do 60 sekundi za optimizaciju mišićnog rasta (Schoenfeld, 2021).

U istraživanju Burda i suradnika (2012) proučavan je utjecaj TUT-a na mišićni rast između grupa s tempom 6-0-6 i 1-0-1. Grupa koja je izvodila ponavljanja tempom 6-0-6 imala je ukupno 6 puta duži TUT u odnosu na grupu 1-0-1. U grupi 1-0-1 izmjerena je značajno veća razina sinteze proteina u mišićima. Iako se na prvu čini da je TUT iznimno važna varijabla, bitno je napomenuti da je spora grupa radne serije izvodila do mišićnog otkaza dok brza grupa nije kako bi ukupni trenažni volumen bio izjednačen. Nedostatak TUT-a kao varijable je taj što TUT ne uzima u obzir varijable poput intenziteta napora ili opterećenja. Primjerice, TUT može biti značajno duži primjenom nižih opterećenja, no ako serije s nižim opterećenjem nisu dovedene do gotovo mišićnog otkaza ili mišićnog otkaza, to može rezultirati inferiornim rezultatima. Isto tako, TUT ne uzima u obzir tempo izvedbe. Primjerice, tempo 1:0:4 i 4:0:1 rezultirat će identičnim TUT-om, no ta dva tempa mogu potpuno različito dugoročno utjecati na mišićnu hipertrofiju s obzirom na to da postoje razlike u unutarstaničnim anaboličkim signalnim putevima koje stimuliraju ekscentrična i koncentrična mišićna akcija. No bez obzira na prethodno navedeno, TUT definitivno ima svoje mjesto u treningu mišićne hipertrofije, no osim TUT-a bitno je kontrolirati i ostale trenažne varijable. (Schoenfeld, 2021).

U meta-analizi (2015) koju su proveli Schoenfeld i suradnici bilo je uključeno ukupno 8 istraživanja. Uočeni su slični efekti za trajanje ponavljanja u rasponu od 0,5 do 8 sekundi, uz uvjet da su serije izvedene do mišićnog otkaza. Isto tako, uočeno je da trajanje pojedinog ponavljanja iznad 10 sekundi može biti inferiorno za ostvarivanje maksimalnog mišićnog rasta.

U istraživanju Pereiere (2016.) proučavani su utjecaji različitog tempa izvedbe na mišićni rast. 12 ispitanika nasumično je podijeljeno u dvije grupe: grupa (n=6) s tempom izvedbe 1:0:1 i grupa (n=6) s tempom izvedbe 1:0:4. Protokol je trajao 12 tjedana s dva treninga tjedno. Trening se sastojao od 3 serije od 8 ponavljanja fleksije podlaktice (Scott pregib). Na kraju perioda od 12 tjedana grupa s tempom izvedbe 1:0:4 ostvarila je nešto veći mišićni rast pregibača podlaktice bez statistički značajnih razlika. Moguće objašnjenje za nešto bolje rezultate u sporijoj grupi jest

to da je grupa s tempom 1:0:4 imala značajno duži TUT, odnosno veću količinu mehaničke napetosti, što je u konačnici moglo rezultirati većim mišićnim rastom.

U istraživanju Azeveda i suradnika (2022.) proučavani su efekti različitog trajanja ekscentrične mišićne akcije tijekom izotoničke kontrakcije na mišićnu hipertrofiju. 10 osoba nasumično je podijeljeno u dvije grupe: grupa koja je ekscentričnu mišićnu akciju izvodila u trajanju od 2 sekunde i grupa koja je ekscentričnu mišićnu akciju izvodila u trajanju od 4 sekunde. Protokol je trajao 8 tjedana a trening se sastojao od 5 serija ekstenzije potkoljenice na trenažeru koje su se izvodile do mišićnog otkaza. Promjene u mišićnog hipertrofiji opružaća potkoljenice mjerene su pomoću ultrazvuka. Na kraju perioda od 8 tjedana ostvareni su podjednaki rezultati za obje grupe osim što je grupa koja je izvodila ekscentričnu mišićnu akciju ostvarila nešto veći mišićni rast m. vastus medialis (4,29% u odnosu na 2,37%, $p=0,018$)

Posebna vrsta motoričke izvedbe koja potencijalno može promovirati mišićne adaptacije je sve popularnija umnomišićna veza (eng. mind-muscle connection). Ona podrazumijeva da vježbač svjesno razmišlja o kontrakcijama mišića agonista. Ako je cilj pojedinca optimizacija performansi, onda je vanjski fokus definitivno superiorniji u odnosu na interni fokus što potvrđuju brojni radovi. No ako je cilj pojedinca optimizacija mišićnog rasta unutarnji fokus može biti dobra strategija za to. Na temelju radova uočeno je da implementacija unutarnjeg fokusa tijekom treninga s otporom pozitivno utječe na aktivaciju mišića. “Mind-muscle connection” (eng.) je česti sinonim za unutarnji fokus, a on je popularan već duže vrijeme u bodybuilding svijetu. Na temelju prvog istraživanja koje je proučavalo izravan utjecaj umnomišićne veze na mišićnu hipertrofiju uočeno je kako je grupa ispitanika koja je razmišljala o kontrakciji mišića ostvarila statistički značajno veći rast pregibača podlaktice (12,4 % u odnosu na 6,9%), dok za muskulaturu nogu nisu uočene statistički značajne razlike. Moguće objašnjenje za ovakve rezultate je to da je nešto lakše motorički kontrolirati gornji dio tijela u odnosu na donji dio tijela, što je nekolicina ispitanika i primijetila (Schoenfeld i suradnici, 2018).

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Izvoditi izotoničke mišićne akcije u trajanju od 0,5 do 6 sekundi
- Kontrolirati opterećenje tijekom svih faza mišićnih akcija
- Razviti snažnu “mind-muscle” vezu (interni fokus)

2.8. Izbor vježbi

Prilikom odabira pojedine vježbe nužno je poznavanje individualnih karakteristika i ciljeva vježbača. Vježbe se mogu podijeliti na osnovne i izolirajuće. Osnovne vježbe istovremeno aktiviraju veći broj mišićnih skupina dok izolirajuće aktiviraju isključivo samo jednu skupinu mišića. Primjer osnovne vježbe je stražnji čučanj sa šipkom, dok je primjer izolirajuće vježbe ekstenzija potkoljenice na trenažeru.

Trening s otporom uzrokuje povećanje mišićne mase, no ona se na temelju brojnih radova ne događa homogeno dužinom cijelog mišića. Iako je mehanizam nastanka regionalne mišićne hipertrofije i dalje nepoznat, moguće objašnjenje je da određene vježbe uzrokuju različitu mišićnu aktivaciju unutar samog mišića (Wakahara, 2011).

Izbor vježbi u treningu mišićne hipertrofije može biti od značajnog utjecaja. Primjerice, ako osoba duži vremenski period izvodi iste vježbe, postoji mogućnost za padom motivacije radi monotonije programa treninga. Upravo zato brojni programi preporučuju čestu promjenu vježbi zbog optimizacije rezultata i motivacije za vježbanjem. Vrlo je popularan termin “šokiranje mišića”, odnosno nagla promjena vježbe koja bi mogla uzrokovati novi podražaj te tako potaknuti mišićni rast. Fonseca i suradnici (2014) prijavili su da mijenjanje vježbi za donji dio tijela svaka dva tjedna doprinosti većoj regionalnog hipertrofiji opružaca potkoljenice od izvođenja samo jedne vježbe (stražnji čučanj). Isto tako Rauch i suradnici (2017) su prikazali kako variranje vježbi autoregulacijski od strane ispitanika doprinosi nešto većoj mišićnoj hipertrofiji u odnosu na fiksni program treninga. Mogući razlog za to je da su novoizabrane vježbe dodatno stimulirale mišićne skupine i/ili da su ispitanici bili nešto motiviraniji.

U istraživanju Vallea i suradnika (2019) istraživao je utjecaj izbora vježbe na mišićnu hipertrofiju. 21 muškarac nasumično je podijeljen u dvije grupe. Prva grupa je izvodila nasumično odabrane vježbe dok je druga grupa pratila program koji se sastojao od istih vježbi tijekom perioda od 8 tjedana. Volumen je između grupa bio izjednačen, a obje su grupe provodile 4 treninga tjedno. Nakon perioda od 8 tjedana ultrazvukom su mjerene promjene u mišićnoj hipertrofiji. Nisu uočene statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji opružaca potkoljenice između grupa. Jedino što je uočeno jest da je grupa koja je varirala s vježbama imala nešto veću razinu intrinzične motivacije u odnosu na drugu grupu. Dobar praktični prijedlog bio bi osnovne

vježbe držati fiksima s povremenim mijenjanjem izolirajućih vježbi kako ne bih došlo do zasićenja treninga, odnosno pada motivacije.

Istraživanje Wakahare (2011) proučavalo je utječe li specifična regionalna aktivnost mišića ultimativno i na mišićnu hipertrofiju. Ispitanici su izvodili ekstenziju podlaktice s bučicama tijekom koje im je mjerena aktivacija m. triceps brachii. Uočena je statistički značajno veća aktivacija mišića u srednjem i proksimalnom području u odnosu na distalni dio. Na kraju perioda od 12 tjedana uočena je veća mišićna hipertrofija upravo u području tricepsa koji je bio aktivniji tijekom izvedbe vježbe. Rezultati istraživanja upućuju na neujednačenu mišićnu hipertrofiju unutar samog mišića. Upravo zato izbor vježbi može biti poprilično važna varijabla s obzirom na to da će različite vježbe najvjerojatnije dovesti i do nešto drugačije regionalne hipertrofije unutar samog mišića. Radeći slično istraživanje 2013. godine, Wahakara i suradnici uočili su slične rezultate, no aktivacija i mišićna hipertrofija m. triceps brachii bila je nešto drugačija s obzirom na to da su ispitanici izvodili drugu vježbu (ravni potisak s bučicama).

U istraživanju Barbalha i suradnika (2021.) proučavani su efekti izbora vježbi na mišićni rast kod žena s trenažnim iskustvom. 30 žena nasumično je podijeljeno u grupe: izvođenje samo osnovnih vježbi, izvođenje samo izolirajućih vježbi te izvođenje kombinacije osnovnih i izolirajućih vježbi. Sve tri grupe su statistički značajno povećale analizirane mišićne skupine (m. gluteus maximus, m. quadriceps femoris i m. pectoralis major, $p < 0,01$), no grupa koja je izvodila samo osnovne vježbe i kombinaciju osnovnih i izolirajućih vježbi ostvarila je nešto veću hipertrofiju svih analiziranih mišićnih skupina u odnosu na grupu koja je izvodila samo izolirajuće vježbe.

U novom sustavnom pregledu i meta-analizi (2022) uspoređivani su efekti izolirajućih i osnovnih vježbi s otporom na mišićnu hipertrofiju. Na temelju 7 izabranih radova analizom je utvrđeno da izolirajuće i osnovne vježbe uzrokuju podjednaki mišićni rast. Na temelju ovih rezultata preporučuje se kombinirati osnovne i izolirajuće vježbe s ciljem maksimalne mišićne hipertrofije.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Usvojiti izvedbu osnovnih vježbi s otporom
- U programu treninga uvrstiti kombinaciju osnovnih i izolirajuće vježbe

2.9. Redoslijed vježbi

U brojnim literaturama s aspekta redoslijeda vježbi preporučuje se prvo izvoditi osnovne, odnosno višezglobne vježbe, te zatim izolirajuće, odnosno jednozglobne vježbe. U suprotnosti tome, neke literature navode kako bi se prvo trebale izvoditi vježbe većeg prioriteta ovisno o specifičnom cilju pojedinca. Problem trenutnih preporuka jest taj što je većina preporuka bazirana na rezultatima istraživanja koja su proučavala akutni utjecaj redoslijeda vježbi (primjerice volumen ili EMG), stoga je teško generalizirati navedene rezultate na kronične adaptacije mišićnog sustava poput mišićne hipertrofije (Nunes i suradnici, 2020).

U meta-analizi koju su proveli Nunes i suradnici (2020.) nisu uočene statistički značajne razlike u efektima redoslijeda vježbi na mišićnu hipertrofiju. U meta-analizu bilo je uključeno 11 radova. Na temelju rezultata ove meta-analize može se zaključiti kako je moguće ostvariti podjednaki mišićni rast neovisno o tome započinje li osoba trening s osnovnim ili jednozglobnim vježbama.

U istraživanju Avelara i suradnika (2018) proučavan je utjecaj redoslijeda vježbi na mišićnu hipertrofiju. U rad je bilo uključeno 36 mladih muškaraca koji su nasumično podijeljeni u dvije grupe: prva grupa (N=19) koja je prvo izvodila osnovne vježbe, a zatim izolirajuće, te druga grupa (n=17) koje je prvo izvodila jednozglobne vježbe a zatim osnovne. Protokol je trajao 6 tjedana, a promjene u hipertrofiji mišića mjerene su pomoću ultrazvuka (m. biceps brachii i m. quadriceps femoris). Na kraju perioda od 6 tjedana uočeno je da su obje grupe statistički značajno povećale poprečni presjek pregibača podlaktice (14,2% prva grupa i 13,8% druga grupa). Za donji dio tijela (opružaače koljena) uočena je razlika u mišićnoj hipertrofiji u korist grupe koja je prvo izvodila osnovne vježbe (7,2% u odnosu na 3,8%). Na temelju rezultata ovog istraživanja može se zaključiti kako su obje metode redoslijeda vježbi efikasne u povećanju mišićne mase, no izgleda da je efikasnije trening započeti s osnovnim vježbama ako je cilj pojedinca mišićna hipertrofija nogu, odnosno opružača koljena.

Najvažniji parametar o kojem ovisi redoslijed vježbi su specifične potrebe i ciljevi pojedinca. S obzirom na to da će vježba koja je izvedena prva pružiti i najveći podražaj, redoslijed vježbi treba formirati prema prioritetima vježbača. Primjerice, ako osoba želi unaprijediti pregibače podlaktice bilo bi poželjno da prvo izvodi vježbe s kojima će maksimalno stimulirati željeni mišić, a tek nakon izvoditi osobi manje važne vježbe

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Trening započeti s vježbama koje aktiviraju mišićne skupine koje su vježbaču od najvećeg prioriteta, bez obzira radi li se o manjoj ili većoj mišićnoj skupini, odnosno osnovnoj ili izolirajućoj vježbi.

2.10. Opseg pokreta

Opseg pokreta predstavlja put (izražen u stupnjevima) koji prelaze zglobova tijela prilikom izvedbe vježbi. Zanimljiva je činjenica da su mišići različito aktivni ovisno o stupnjevima izvedbe pojedinih vježbi. Primjerice, m. vastus lateralis maksimalno je aktiviran u prvih 60 stupnjeva opsega pokreta, dok je m. vastus medialis maksimalno aktiviran u zadnjih 60 stupnjeva. Slično vrijedi i za m. biceps brachii u kojem je duga glava aktivnija na početku fleksije podlaktice dok je kratka glava aktivnija pri kraju pokreta. Varijabla opseg pokreta često je zanemarena uspoređujući ju s ostalim trenažnim varijablama. Vježbe s otporom mogu se izvoditi u različitim varijacijama ovisno o opsegu pokreta. Primjerice, čučanj se može podijeliti na duboki čučanj, čučanj te polučučanj ovisno o opsegu pokreta u kojemu se vježba izvodi. Brojni autori preporučuju izvođenje vježbi kroz puni opseg pokreta kako bi se maksimizirala korist izvođenja pojedine vježbe. Utjecaj opsega pokreta u treningu mišićne hipertrofije je nešto manje jasan (Schoenfeld, 2021).

Metoda parcijalnih ponavljanja vrlo je česta među bodybuilderima, a često se smatra da je jednako efektivna kao izvođenje vježbi s punim opsegom pokreta. Metoda parcijalnih ponavljanja omogućuje snažniju mehaničku tenziju zato što je takvom metodom moguće savladavati veća opterećenja. Isto tako, parcijalna ponavljanja mogu izazvati veliku mišićnu hipoksiju što će rezultirati i značajnijim metaboličkim stresom koji ima svoju ulogu u mišićnoj hipertrofiji (Schoenfeld i suradnici, 2021).

Na temelju sustavnog pregleda Schoenfelda i suradnika iz 2019. godine zaključeno je da izvođenje vježbi kroz puni opseg pokreta uzrokuje veći mišićni rast u odnosu na djelomični opseg pokreta, no samo za donji dio tijela. Kada je gornji dio tijela u pitanju, rezultati su limitirani primarno radi nedovoljno istraživanja koja proučavaju utjecaj opsega pokreta na gornji dio tijela.

Isto tako, postoji mogućnost da je opseg pokreta ovisan o specifičnom mišiću, no hipoteza zahtijeva daljnja istraživanja.

U istraživanju Bloomquista i suradnika (2013) proučavan je utjecaj čučnja različite dubine na mišićnu hipertrofiju. 17 mladih muškaraca nasumično su podijeljeni u dvije grupe: duboki čučanj koji se izvodio u rasponu od 0 do 120 stupnjeva i polučučanj koji se izvodio u rasponu od 0 do 60 stupnjeva. Promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću magnetske rezonance (prednji, stražnji te unutarnji mišići natkoljenice). Na temelju rezultata uočeno je kako je duboki čučanj uzrokovao rast svih dijelova opružaca koljena dok je polučučanj uzrokovao samo rast proksimalnog dijela mišića.

U istraživanju Gota i suradnika (2017) proučavani su efekti izvođenja vježbi s punim i parcijalnim opsegom pokreta. 44 muškarca bili su podijeljeni u dvije grupe: puni opseg pokreta ($n=22$) i parcijalni opseg pokreta ($n=22$). Prva grupa vježbu je izvodila u rasponu od 0 do 120 stupnjeva, a druga grupa u rasponu od 45 do 90 stupnjeva (potisak sa šipkom s ravne klupe). Promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću ultrazvuka. Na kraju perioda od 8 tjedana uočene su statistički značajne razlike u mišićnoj hipertrofiji opružaca podlaktice u korist grupe koja je prakticirala parcijalna ponavljanja ($48,7\pm 14,5$ posto u odnosu na $28,2\pm 10,9$ posto, $p<0,05$.)

U radu Pinta i suradnika (2012) proučavani su efekti opsega pokreta na mišićni rast. Izvedba s punim opsegom pokreta ostvarila je veći mišićni rast u odnosu na parcijalna ponavljanja ($9,65\pm 4,4\%$ za puni opseg pokreta i $7,83\pm 4,9$ za parcijalni opseg pokreta, $p=0,07$).

Kubo i suradnici (2019) u svome su istraživanju ispitivali efekte dubokog čučnja i polučučnja na mišićnu hipertrofiju. U istraživanje je bilo uključeno 17 muškaraca koji su kroz period od 10 tjedana provodili 2 treninga tjedno. Promjene u mišićnoj hipertrofiji mjerene su pomoću ultrazvuka. Rezultati su otkrili da su obje grupe statistički značajno povećale poprečni presjek mišića opružaca potkoljenice ($4,9\pm 2,6\%$ za duboki čučanj i $4,6\pm 3,1\%$ za polučučanj). Isto tako uočena je statistički značajna razlika u mišićnoj hipertrofiji aduktora i mišića gluteus maximus u korist grupe koja je izvodila duboki čučanj. ($6,2\pm 2,6\%$ i $6,7\pm 3,5\%$ za duboki čučanj i $2,7\pm 3,1\%$ i $2,2\pm 2,6\%$ za polučučanj). Nisu uočene promjene u hipertrofiji mišića stražnje strane natkoljenice i pregibača kuka.

U meta-analizi (2021) koja je analizirala utjecaj opsega pokreta na mišićnu hipertrofiju utvrđeno je da izvođenje vježbi za donji dio tijela kroz puni opseg pokreta uzrokuje veće hipertrofijske adaptacije u odnosu na izvođenje vježbi s parcijalnim opsegom pokreta ($p=0,027$). Na temelju rezultata ove meta-analize može se zaključiti kako je trening s punim opsegom pokreta superiorniji za mišićni rast donjeg dijela tijela u odnosu na parcijalna ponavljanja.

Na temelju prethodno navedenog preporučuje se:

- Vježbe izvoditi s punim opsegom pokreta, posebno za vježbe donjeg dijela tijela
- Pri implementaciji parcijalnih ponavljanja vježbe izvoditi u dijelu pokreta u kojem je mišić najviše izdužen

3. ZAKLJUČAK

Trening s otporom postao je iznimno popularan u posljednjih nekoliko desetljeća. U prošlosti se trening s otporom koristio isključivo u kontekstu kondicijske pripreme sportaša dok on danas svoje mjesto ima i u rekreativnom vježbanju, prevenciji ozljeda te rehabilitaciji. Trening s otporom može značajno povećati mišićnu masu pojedinca (dakle, potaknuti proces mišićne hipertrofije), koja je važna za zdravlje, svakodnevne aktivnosti te sportsku izvedbu. Rekreativnom fitnessu raste popularnost iz godine u godinu, a jedan od najčešćih ciljeva posebice muške populacije rekreativnih vježbača definitivno je mišićni rast. S razvojem znanosti i tehnologije dolazi se do novih saznanja u području fitnesa. Imajući to na umu, važno je konstantno primjenjivati nove znanstvene spoznaje, a zastarjele odbacivati. Primjerice, na temelju rezultata novih istraživanja utvrđeno je da nije potrebno izvoditi 30 serija za istu mišićnu skupinu po pojedinom treningu ili da je moguće ostvariti mišićni rast i sa serijama od 30 ponavljanja. Zaključno, individualizacija rada i praktična primjena novih znanstvenih spoznaja ključ su prema uspješnom sportskom treningu općenito, kao i prema treningu usmjerenom na mišićnu hipertrofiju specifično.

4. LITERATURA

- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & 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>
- Avelar, A., Ribeiro, A. S., Nunes, J. P., Schoenfeld, B. J., Papst, R. R., Trindade, M., Bottaro, M., & Cyrino, E. S. (2019). Effects of order of resistance training exercises on muscle hypertrophy in young adult men. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 44(4), 420–424. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0478>
- Azevedo, P., Oliveira, M., & 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>
- Barbalho, M., Souza, D., Coswig, V., Abrahim, O., Paoli, A., & Gentil, P. (2021). The Effects of Resistance Exercise Selection on Muscle Size and Strength in Trained Women. *International journal of sports medicine*, 42(4), 371–376. <https://doi.org/10.1055/a-1121-7736>
- Barcelos, C., Damas, F., Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Lixandrão, M. E., Marcelino Eder Dos Santos, L., & 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., & 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., & 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>
- Baz-Valle, E., Schoenfeld, B. J., Torres-Unda, J., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2019). The effects of exercise variation in muscle thickness, maximal strength and motivation in resistance trained men *PloS one*, 14(12), e0226989. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226989>
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European journal of applied physiology*, 113(8), 2133–2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>
- Brigatto, F. A., Braz, T. V., Zanini, T., Germano, M. D., Aoki, M. S., Schoenfeld, B. J., Marchetti, P. H., & 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.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002563>

Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., Cashaback, J. G., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men *The Journal of physiology*, 590(2), 351–362.

<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., & 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>

Doi:10.1519/SSC.0000000000000720

Fonseca, R. M., Roschel, H., Tricoli, V., de Souza, E. O., Wilson, J. M., Laurentino, G. C., Aihara, A. Y., de Souza Leão, A. R., & Ugrinowitsch, C. (2014). Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. *Journal of strength and conditioning research*, 28(11), 3085–3092. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000539>

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>

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.

Goto, M., Maeda, C., Hirayama, T., Terada, S., Nirengi, S., Kurosawa, Y., Nagano, A., & 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. The Effects of Low-Load Vs. High-Load Resistance Training on Muscle Fiber Hypertrophy: A Meta-Analysis. *J Hum Kinet.* 2020 Aug 31;74:51-58. doi: 10.2478/hukin-2020-0013. PMID: 33312275; PMCID: PMC7706639.

Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W., & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy: A systematic review *European journal of sport science*, 17(8), 983–993.

<https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1340524>

- Hackett, D. A., Johnson, N. A., & 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., & 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.
- Hammarström, D., Øfsteng, S., Koll, L., Hanestadhaugen, M., Hollan, I., Apró, W., Whist, J. E., Blomstrand, E., Rønnestad, B. R., & Ellefsen, S. (2020). Benefits of higher resistance-training volume are related to ribosome biogenesis. *The Journal of physiology*, 598(3), 543–565. <https://doi.org/10.1113/JP278455>
- Hanssen, K. E., Kvamme, N. H., Nilsen, T. S., Rønnestad, B., Ambjørnsen, I. K., Norheim, F., Kadi, F., Hallén, J., Drevon, C. A., & 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., & Bemben, 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/ijsp.2.2.159>
- Heaselgrave, S. R., Blacker, J., Smeuninx, B., McKendry, J., & Breen, L. (2019). Dose-Response Relationship of Weekly Resistance-Training Volume and Frequency on Muscular Adaptations in Trained Men. *International journal of sports physiology and performance*, 14(3), 360–368. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0427>
- Helms, E. R., Fitschen, P. J., Aragon, A. A., Cronin, J., & 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.
- Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., Courel-Ibáñez, J., & Pallarés, J. G. (2022). Partial range of motion and muscle hypertrophy: Not all ROMs lead to Rome-Response. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(3), 634–635. <https://doi.org/10.1111/sms.14126>
- Hoeger, W., Barette, S., Hale, D. i Hopkins, D. (1987). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *Journal of applied sport science research*, volume 1, number 1, pp. 11-13
- 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., & 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:ACSCOD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1999)013<0247:ACSCOD>2.0.CO;2)
- Kraemer, W. J., & 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>
- Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *European journal of applied physiology*, 119(9), 1933–1942. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>
- 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>
- 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 BJ, Silva-Batista C, et al. Muscle Failure Promotes Greater Muscle Hypertrophy in Low-Load but Not in High-Load Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2022 Feb;36(2):346-351. DOI: 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., & Pinto, R. S. (2021). Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 53(6), 1206–1216. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002585>
- Maeo, S., Shan, X., Otsuka, S., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2018). Neuromuscular Adaptations to Work-matched Maximal Eccentric versus Concentric Training. *Medicine and science in sports and exercise*, 50(8), 1629–1640. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001611>
- Martorelli, S., Cadore, E. L., Izquierdo, M., Celes, R., Martorelli, A., Cleto, V. A., Alvarenga, J. G., & 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>
- Mikulić, P. i Marković, M. (2016) Motorička kontrola – interna skripta za studente. Kineziološki fakultet sveučilišta u Zagrebu
- Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, Burd NA, Breen L, Baker SK, Phillips SM. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men.

J Appl Physiol (1985). 2012 Jul;113(1):71-7. doi: 10.1152/jappphysiol.00307.2012. Epub 2012 Apr 19. PMID: 22518835; PMCID: PMC3404827.

Nunes, J. P., Grgic, J., Cunha, P. M., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., de Salles, B. F., & Cyrino, E. S. (2021). What influence does resistance exercise order have on muscular strength gains and muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis. *European journal of sport science*, 21(2), 149–157. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1733672>

Ostrowski, K.J., Wilson, G.J., Weatherby, R.P., Murphy, P.W., & 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.

Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 31(10), 1866–1881. <https://doi.org/10.1111/sms.14006>

Pereira, Paulo Eduardo & Motoyama, Yuri & Esteves, Gilmar & Quinelato, William & Botter, Luciano & Tanaka, Kelvin & Azevedo, Paulo. (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.

Pinto, R. S., Gomes, N., Radaelli, R., Botton, C. E., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *Journal of strength and conditioning research*, 26(8), 2140–2145. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3b15>

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>

Ratamess, N. A., Falvo, M. J., Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2007). The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European journal of applied physiology*, 100(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0394-y>

Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & 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>

Rosa, Avery BSc1; Vazquez, Gregory BSc1; Grgic, Jozo PhD2; Balachandran, Anoop T. PhD3; Orazem, John PhD1; Schoenfeld, Brad J. PhD1 Hypertrophic Effects of Single- Versus Multi-Joint Exercise of the Limb Muscles: A Systematic Review and Meta-analysis, *Strength and Conditioning Journal*: April 6, 2022 - Volume - Issue - 10.1519

Saric, J., Lisica, D., Orlic, I., Grgic, J., Krieger, J. W., Vuk, S., & 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 Suppl 1, S122–S129. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002909>

Scarpelli, M. C., Nóbrega, S. R., Santaniello, N., Alvarez, I. F., Otoboni, G. B., Ugrinowitsch, C., & 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.0000000000003558>

Schoenfeld, B. (2021). Science and development of muscle hypertrophy. Illinois, USA: Human Kinetics

Schoenfeld, B. J., & 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., & 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., & Tiriyaki-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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., & 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., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015). Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 29(10), 2954–2963.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000958>

Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J. A., Bond-Williams, K. E., Carter, A. S., Ross, C. L., Just, B. L., Henselmans, M., & Krieger, J. W. (2016). Longer 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., & 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. D., Grgic, J., Haun, C., Contreras, B., Delcastillo, K., Francis, A., Cote, G., & Alto, A. (2020). Do the anatomical and physiological properties of a muscle determine its adaptive response to different loading protocols?. *Physiological reports*, 8(9), e14427. <https://doi.org/10.14814/phy2.14427>

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, Brad J.1,2; Ratamess, Nicholas A.3; Peterson, Mark D.5; Contreras, Bret4; Sonmez, G. T.1; Alvar, Brent A.2 Effects of Different Volume-Equated Resistance Training Loading Strategies on Muscular Adaptations in Well-Trained Men, *Journal of Strength and Conditioning Research*: October 2014 - Volume 28 - Issue 10 - p 2909-2918.

doi:10.1519/JSC.0000000000000480

Simão, R., de Salles, B.F., Figueiredo, T. *et al.* Exercise Order in Resistance Training. *Sports Med* 42, 251–265 (2012). <https://doi.org/10.2165/11597240-000000000-00000>

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>

- Vikne, H., Refsnes, P. E., Ekmark, M., Medbø, J. I., Gundersen, V., & Gundersen, K. (2006). Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(10), 1770–1781. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000229568.17284.ab>
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 126(1), 30–43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>
- 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>
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomeé, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(3), 225–264. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737030-00004>
- Zaroni, R. S., Brigatto, F. A., Schoenfeld, B. J., Braz, T. V., Benvenutti, J. C., Germano, M. D., Marchetti, P. H., Aoki, M. S., & Lopes, C. R. (2019). High Resistance-Training Frequency Enhances Muscle Thickness in Resistance-Trained Men. *Journal of strength and conditioning research*, 33 Suppl 1, S140–S151. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002643>