

# Razvoj mišićne hipertrofije

---

Ogrizek, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:265:891936>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Kineziološki fakultet Osijek

Preddiplomski sveučilišni studij Kineziologija

Filip Ogrizek

## **RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE**

Završni rad

Osijek, 2023.

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

Filip Ogrizek

**RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE**

Završni rad

JMBAG: 0267043256

e- mail: fogrizek@kifos.hr

Mentor: doc. dr. sc. Mijo Ćurić

Osijek, 2023.

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

Filip Ogrizek

**DEVELOPMENT OF MUSCLE HYPERTROPHY**

Undergraduate thesis

Osijek, 2023.

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

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

**Ime i prezime studenta/studentice:** Filip Ogrizek

**JMBAG:** 0267043256

**Službeni e-mail:** fogrizek@kifos.hr

**Naziv studija:** Preddiplomski sveučilišni studij Kineziologija

**Naslov rada:** Razvoj mišićne hipertrofije

**Mentor završnog rada:** doc. dr. sc. Mijo Ćurić

U Osijeku 2023. godine

Potpis \_\_\_\_\_ 

## **Razvoj mišićne hipertrofije**

Hipertrofija mišića postaje sve češća tema istraživanja različitih znanstvenih grana zbog svoje uloge u organizmu. Pravilan plan i program treninga kod sportaša i rekreativaca imaju najvažniju ulogu radi unapređenja sportskih performansi, zbog čega je bitno istražiti kako različiti faktori utječu na razvoj hipertrofije. Potrebno je prvo pojasniti strukturu mišića te kako tijelo reagira i prilagođava se stresu, nakon čega je važno pojasniti sve čimbenike koji utječu na hipertrofiju kao što su genetika, dob i spol. Postoje različite varijable koje se mogu prilagoditi kako bi se postigla hipertrofija, uključujući volumen, učestalost, opterećenje, izbor vježbi, vrstu mišićne aktivacije, duljinu intervala odmora, trajanje ponavljanja, redoslijed vježbi, raspon pokreta i intenzitet napora. U ovom završnom radu opisani su i osnovni čimbenici mišićne hipertrofije: mehanička napetost, metabolički stres, oštećenje mišića. Opisani su još i treninzi za postizanje mišićne hipertrofije kao i kako hormoni utječu na njezino razvijanje.

**Ključne riječi:** hipertrofija, mišići, trening

## **Development of muscle hypertrophy**

Muscle hypertrophy is becoming an increasingly common topic of research in various scientific branches because of its role in the body. A proper training plan and program for athletes and recreationists plays the most important role in improving sports performance, which is why it is important to investigate how different factors affect the development of hypertrophy. Firstly it is necessary to clarify the structure of muscles and how the body reacts and adapts to stress. After that, it is important to clarify all the factors that influence hypertrophy, such as genetics, age and gender. There are various variables that can be adjusted to achieve hypertrophy, including volume, frequency, load, exercise selection, type of muscle activation, rest interval, repetition duration, exercise order, range of motion, and intensity of effort. In this reviewed article, the basic factors of muscle hypertrophy are also described as: mechanical tension, metabolic stress, muscle damage. Training for achieving muscle hypertrophy is also described, as well as how hormones affect its development.

**Keywords:** hypertrophy, muscles, training

# SADRŽAJ

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>                                     | <b>1</b>  |
| <b>2. STRUKTURA MIŠIĆA .....</b>                        | <b>3</b>  |
| <b>3. HIPERTROFIJA .....</b>                            | <b>5</b>  |
| <b>4. RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE .....</b>             | <b>8</b>  |
| 4.1. Genetika.....                                      | 8         |
| 4.2. Dob .....                                          | 8         |
| 4.3. Spol.....                                          | 9         |
| <b>5. PROGRAM ZA RAZVOJ HIPERTROFIJE .....</b>          | <b>10</b> |
| 5.1. Volumen.....                                       | 10        |
| 5.2. Učestalost.....                                    | 10        |
| 5.3. Opterećenje .....                                  | 10        |
| 5.4. Izbor vježbi.....                                  | 10        |
| 5.5. Vrsta mišićne aktivacije.....                      | 11        |
| 5.6. Duljina intervala odmora .....                     | 11        |
| 5.7. Trajanje ponavljanja .....                         | 11        |
| 5.8. Redoslijed vježbi.....                             | 11        |
| 5.9. Raspon pokreta.....                                | 12        |
| 5.10. Intenzitet napora .....                           | 12        |
| <b>6. OSNOVNI ČIMBENCICI MIŠIĆNE HIPERTROFIJE .....</b> | <b>13</b> |
| 6.1. Mehanička napetost .....                           | 13        |
| 6.2. Metabolčka napetost/stres .....                    | 13        |
| 6.3. Oštećenje mišića .....                             | 14        |
| <b>7. TRENING ZA RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE.....</b>   | <b>16</b> |
| 7.1. Forsirana ponavljanja.....                         | 16        |
| 7.2. Opadajuće serije .....                             | 16        |
| 7.3. Superserije.....                                   | 16        |
| 7.3.1. Setovi suprostavljenih mišićnih grupa .....      | 16        |
| 7.3.2. Setovi istih mišićnih grupa .....                | 17        |



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 7.4. Teški negativni .....      | 17 |
| 8. HIPERTROFIJA I HORMONI ..... | 18 |
| 9. ZAKLJUČAK .....              | 19 |
| 10. LITERATURA.....             | 20 |
| 11. ŽIVOTOPIS.....              | 26 |

## 1. UVOD

Povećanje mišićne mase i snage proces je koji se naziva mišićna hipertrofija. Aktin i miozin, dva kontraktilna proteina, proizvode se u većim količinama u svakom mišićnom vlaknu kao rezultat fiziološkog procesa. Povećanje dimenzija mišića posljedica je povećanja veličine pojedinih mišićnih vlakana. Kada je mišić podvrgnut naporu, mišićna vlakna se povećavaju i jačaju, što rezultira snažnijim mišićima koji mogu podnijeti novo opterećenje. Ovaj adaptivni odgovor na funkcionalne zahtjeve uzrokuje promjene u strukturi mišića. Na taj se način prilagođavaju svim većim opterećenjima koja su veća od kapaciteta mišićnih vlakana, uključujući skeletne i srčane mišiće (Hernandez i sur., 2017).

Povećanje mišićne mase čini ključne komponente kondicione pripreme u raznim sportovima zbog korelacije između površine mišićnog presjeka i mišićne snage (Herman i sur., 2010; Jones i sur., 2008). Osim toga, povećanje mišićne mase jedan je od ciljeva bodybuildinga (Hackett i sur., 2013) i mnogih pojedinaca koji rekreativno treniraju snagu. Nadalje, odgovarajuće razine mišićne mase važan su problem sa zdravstvenog stajališta jer su niske razine povezane s povećanim rizikom od nekoliko bolesti kao što su kardiovaskularne bolesti (Srikanthan i sur., 2016) i kardio-metabolički rizik kod adolescenata (Burrows i sur., 2017) kao i dijabetes tipa II. u osoba srednje i starije životne dobi (Son i sur., 2017).

Da bismo razumjeli mnoge čimbenike povezane s maksimiziranjem hipertrofije skeletnih mišića, neophodno je imati temeljno znanje kako tijelo reagira i prilagođava se vježbanju (Schoenfeld, 2020). Povećano nakupljanje mišićnih proteina nakon vježbi otpora pripisuje se trima primarnim mehanizmima: mehaničkoj napetosti, metaboličkom stresu i oštećenju mišića (Schoenfeld, 2010). Programi treninga s otporom kombinacija su varijabli dizajniranih programa koje uključuju volumen, učestalost, opterećenje, izbor vježbi, vrstu mišićne aktivnosti, duljinu intervala odmora, trajanje ponavljanja, redoslijed vježbi, raspon pokreta i intenzitet napora. Tim se varijablama može manipulirati kako bi se stimulirao neuromuskularni sustav, a to čine na različite načine. Nekoliko čimbenika specifičnih za populaciju utječe na masu skeletnih mišića i hipertrofični odgovor na vježbe otpora. Posebno treba istaknuti genetiku, dob, spol i iskustvo u treniranju (Schoenfeld, 2020). Sve ove komponente važno je proučiti i opisati kako bih mogli

shvatiti što sve utječe na razvoj mišićne hipertrofije. Cilj ovog završnog rada je proučiti hipertrofiju te načine na koje se ona razvija.

## 2. STRUKTURA MIŠIĆA

Da bismo shvatili mnoge čimbenike koji se odnose na maksimalizaciju hipertrofije skeletnih mišića, ključno je imati temeljno znanje o tome kako tijelo reagira i prilagođava se stresu. Shvaćanje složenosti hipertrofije mišića zahtijeva temeljno razumijevanje neuromuskularnog sustava, posebno interakciju između živaca i mišića koji stvaraju silu za provođenje ljudskog pokreta (Schoenfeld, 2020).

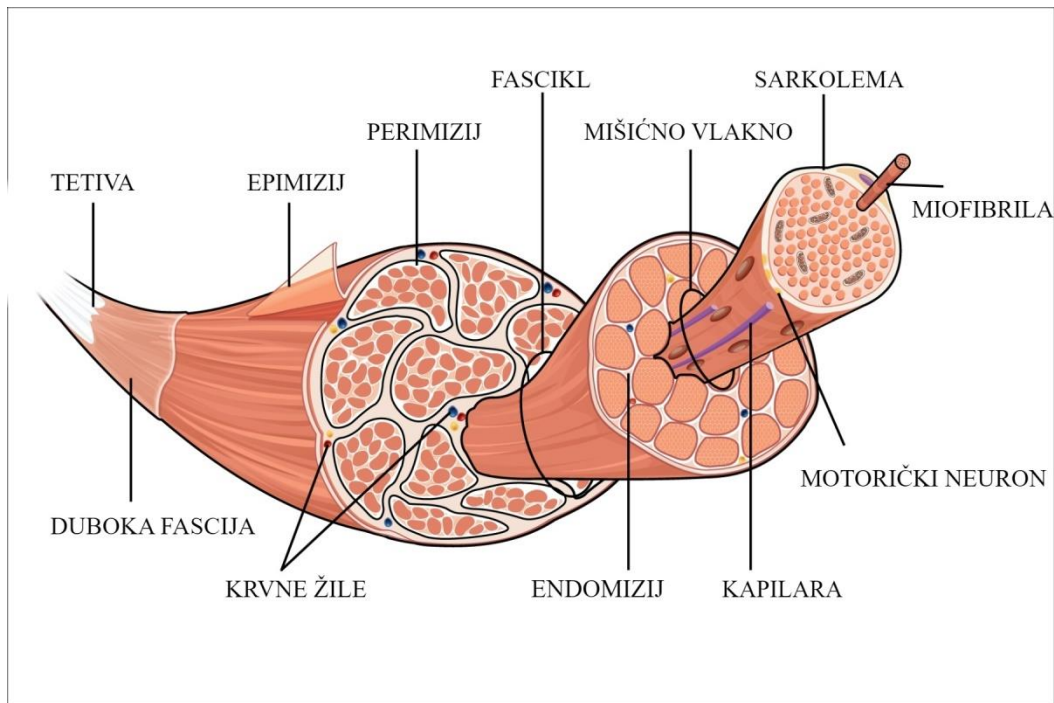
Struktura mišića je vrlo složena. Mišić je okružen slojevima vezivnog tkiva. Vanjski sloj koji pokriva cijeli mišić naziva se epimizij; unutar cijelog mišića nalaze se mali snopovi vlakana koja se nazivaju fascikuli koji su zatvoreni u perimiziju; a unutar fascikula nalaze se pojedinačne mišićne stanice (tj. vlakna) prekrivene omotačima endomizija. Broj vlakana kreće se od nekoliko stotina u malim mišićima do preko milijun u velikim mišićima, poput Gastrocnemiusa. Za razliku od ostalih tipova stanica, skeletni mišić je multinukleiran, što mu omogućava da proizvodi proteine tako da može rasti kad je to potrebno. Skeletni mišići izgledaju prugasto, kada ih gledamo pod mikroskopom. Prugasti izgled nastaje zbog slaganja sarcomera, koji su osnovne funkcionalne jedinice miofibrila. Svako mišićno vlakno sadrži stotine do tisuće miofibrila. Miofibrili sadrže dvije vrste primarnih proteinskih vlakana koja su odgovorna za kontrakciju mišića: aktin (tanka vlakna) i miozin (debela vlakna), koja sadrže približno 50% proteina u mišićnoj ćeliji (Deshmukh i sur., 2015).

Mišićna vlakna kategorizirana su u dvije vrste primarnih vlakana: tip I i tip II. Vlakna tipa I, koja se često nazivaju i vlakna sporog trzaja, otporna su na umor i stoga su prikladna za aktivnosti koje zahtijevaju mišićnu izdržljivost. Vlakna tipa II, poznata i kao brza vlakna, prikladna su za napore povezane sa snagom. Međutim, ova vlakna se brzo umaraju i stoga imaju ograničenu sposobnost obavljanja aktivnosti koje zahtijevaju visoku razinu mišićne izdržljivosti (Schoenfeld, 2020).

Istraživanja pokazuju da određene vrste vježbi mogu utjecati na duljinu mišićnog fascikula. Postoje tri različita tipa rada mišića: koncentrično, ekscentrično i izometrično. Koncentrične radnje se događaju kada se mišić skraćuje; ekscentrične radnje se javljaju kada se mišić izdužuje;

a izometrijske radnje događaju se kada mišić proizvodi silu na nepokretni zglob (Schoenfeld, 2020).

Slika 1: Tri sloja vezivnog tkiva preuzeto od Biga i sur., 2020. *Anatomy & physiology*. OpenStax/Oregon State University.



### 3. HIPERTROFIJA

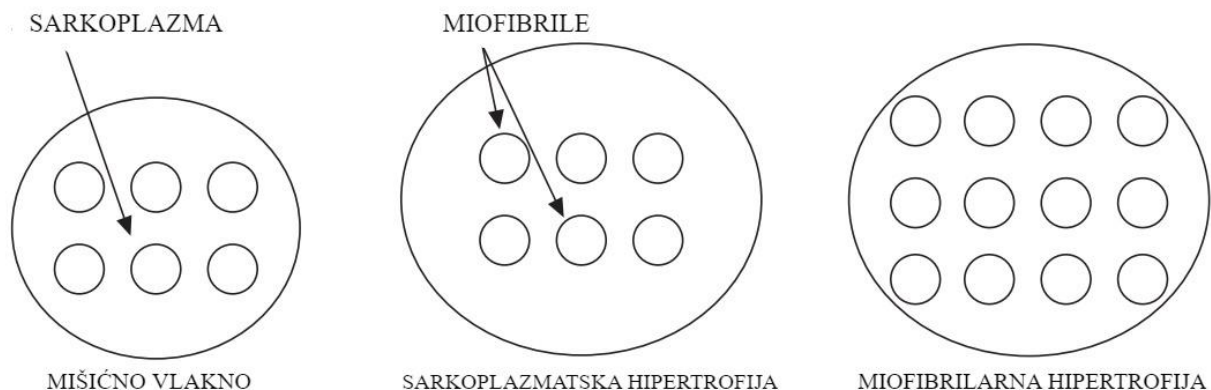
Hipertrofija je povećanje mišićne mase i volumena, koje je najčešće uzrokovano programom vježbanja. Tijekom procesa hipertrofije kontraktilni elementi se povećavaju, a izvanstanični matriks se širi kako bi podržao rast (Schoenfeld, 2010). U osnovi, hipertrofija je rezultat rasta pojedinih mišićnih stanica, a vrlo rijetko povećanje broja stanica. Hipertrofiju mišića treba razlikovati od mišićne hiperplazije. Hipertrofija povećava količinu kontraktilnih elemenata i izvanstaničnog matriksa mišićne stanice (Vierck i sur., 2000), s druge strane hiperplazija povećava broj mišićnih vlakana (stanica) u mišiću (Plunčević Gligoroska i sur., 2022). Osnovni temelj povećanja mišićne mase je povećanje sinteze mišićnih proteina (MPS). Tijekom individualnog treninga otpora, proces proteolize (razgradnje proteina u aminokiseline) je veći od procesa sinteze proteina. Tijekom razdoblja oporavka, do 48 sati nakon vježbanja, sinteza mišićnih proteina povećava se 2-5 puta, što uz dostatni unos hranjivih tvari rezultira mišićnim rastom (Tesch i Larsson, 1982). Hipertrofija mišića nastaje kada je sinteza proteina veća od razgradnje mišićnih proteina. Za hipertrofiju mišića karakteristični su sljedeći fenomeni: povećanje broja i veličine miofibrila u mišićnoj stanici; povećanje ukupne količine kontraktilnih proteina, posebno miozina; te povećanje gustoće kapilara u mišićima i povećanje količine i čvrstoće vezivnog, tetivnog i ligamentarnog tkiva (Plunčević Gligoroska i sur., 2022)

Da bi došlo do hipertrofije mišića potrebno je poremetiti dinamičku ravnotežu između sinteze i razgradnje mišićnih proteina u korist sinteze. Satelitske stanice ili tzv. mišićne matične stanice postaju aktivne kada odgovarajući (dovoljno jakog intenziteta) mehanički podražaj djeluje na skeletni mišić (Plunčević Gligoroska i sur., 2022). Pretpostavlja se da aktivirane mišićne satelitske stanice umeću stanične jezgre mišićnoj stanici (koje su inače multinuklearne stanice) i tako povećavaju kapacitet stanice za proizvodnju novih kontraktilnih proteina (Gundersen, 2016). Da bi mišićna stanica rasla, osim povećanja sadržaja sarkoplazme i miofibrila, potrebno je povećanje broja mionukleusa, što će povećati kapacitet mišićne stanice za sintezu proteina (Barton-Davis i sur., 1999). Osim što služe kao nuklearni donori, satelitske stanice sudjeluju s nizom miogenih regulatornih čimbenika koji pomažu pri oporavku mišića, regeneraciji i rastu (Yamamoto i sur., 2018).

Svaki miocit sadrži miofibrile koji omogućuju kontrakciju mišića. Hipertrofija miofibrila se odnosi na povećanje broja miofibrila. To uzrokuje povećanje snage i gustoće mišića. Mišići također sadrže sarkoplazmatsku tekućinu. Ova tekućina je izvor energije koji okružuje miofibrile u mišićima. Sadrži adenozin trifosfat, glikogen, kreatin fosfat i vodu. Tijekom vježbanja više tekućine dolazi do mišića kako bi se osigurala energija (Bubnis, 2018).

Sarkoplazmatsku hipertrofiju mišićnih vlakana karakterizira rast sarkoplazme (polutekuća interfibrilarna tvar, voda), koja se također naziva "bubrenje stanica", što pridonosi rastu stanica. Sarkoplazmatska hipertrofija odnosi se na povećanje različitih nekontraktilnih elemenata izazvanim treningom kao što su sarkoplazmatska tekućina, zalihe glikogena, kolagen, organele, enzimi tj. kada se povećava mišićna masa bez istodobnog povećanja snage (Zatsiorsky i sur., 2020)

Slika 3: Sarkoplazmatska i miofibrilna hipertrofija preuzeto od Zatsiorsky i sur., 2020. *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.



Činjenica je da progresivni trening s otporom može postići značajna povećanja površine poprečnog presjeka (CSA), povećanje od približno 10-15% zabilježeno je nakon samo 10-14 tjedana dinamičkog treninga s velikim otporom (Holm i sur., 2008; McCall i sur., 1996). U početnim tjednima treninga, povećanje veličine mišića (hipertrofija) je ograničeno. Većina povećanja snage kod ljudi koji nisu navikli na trening događa se zbog poboljšane funkcionalnosti živčanog sustava i prilagodbi u strukturi mišića, što nazivamo neuralnim i arhitektonskim prilagodbama (Seynnes i sur., 2007). Kasnije, nakon tog početnog razdoblja, hipertrofija mišića postaje izraženija. Uočava se trend da se gornji udovi povećavaju u veličini prije nego donji

udovi. Iako je mišićna hipertrofija očita i kod vlakana tipa I i kod tipa II, značajno veće promjene se vide u vlaknima tipa II. Čimbenici koji umanjuju stopu povećanja mišićne mase su genetika, dob i spol. Hipertrofija je posebno važna za sportaše koji se natječu u sportovima snage (npr. nogometne linijske igrače, bacače kugle, itd.) s obzirom na to da postoji izravna korelacija između snage i mišićnog CSA (Tesch, 1988).



## 4. RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Odgovor fiziološkog sustava na vježbe s otporom sastoji se od nepromjenjivih (tj. genetika, dobi i spola) i promjenjivih čimbenika (tj. tjelovježba, prehrana, status treniranosti itd.). (Viecelli i Ewald, 2022).

### 4.1. Genetika

Postoji teoretsko ograničenje veličine mišićnih vlakana koje na koncu određuje genetska predispozicija i fizičke karakteristike osobe (Schoenfeld, 2020). Istraživanja provedena na jednojajčanim blizancima pokazuju da čak do 90% početne mišićne mase ima nasljednu komponentu, dok se individualne razlike u hipertrofiji smatraju odgovorom na program treninga s opterećenjem (Hand i sur., 2007).

U studiji s više od 500 ispitanika Hubal i sur. (2005), uočili su značajne razlike u reakcijama muškaraca i žena na 12 tjedana naprednog treninga fleksora lakta s opterećenjem. Neki sudionici su povećali površinu poprečnog presjeka mišića bicepsa brachii za čak 59%, dok su drugi pokazali minimalno ili gotovo nikakvo povećanje mišićne mase. Ovo ukazuje na različite individualne odgovore na isti program treninga, što dodatno naglašava ulogu genetike i drugih faktora u postizanju hipertrofije mišića.

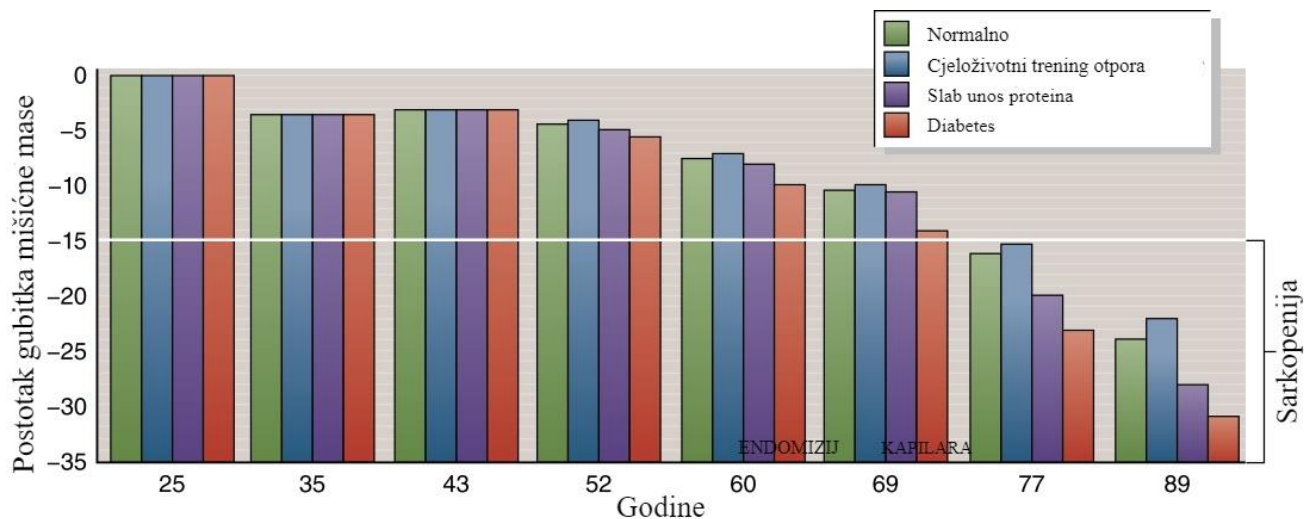
### 4.2. Dob

Proces starenja povezan je s promjenama u količini i kvaliteti mišića. Ljudska mišićna masa doseže vrhunac između 20. i 40. godine (Burton i sur., 1999). Nakon toga, tijelo gubi približno 0,5% svoje mišićne mase godišnje tijekom četvrtog desetljeća života, nakon 50. godine povećava se na 1% do 2% godišnje i zatim ubrzavajući na 3% godišnje nakon 60. godine. Ovaj gubitak mišićnog tkiva povezan sa starenjem nazvan je sarkopenija. Ljudi pretežito sjedilačkog načina života pokazuju veće stope pada od onih koji su aktivni, iako tjelesna aktivnost u slobodno vrijeme ima samo male učinke na ublažavanje gubitka mišića (Waters i sur., 2010).

Ovi negativni učinci vidljivi su i kod vlakana tipa I i kod tipa II, ali su najizraženiji kod brzokontraahirajućih vlakana. Postoje dokazi da vlakna tipa II zapravo prolaze kroz apoptozu (programirana stanična smrt kao dio normalnog rasta, razvoja i starenja). Kod sjedilačke mlade

populacije muškaraca, ova vlakna se nalaze na 60% te se smanjuju na manje od 30% kod osoba starijih od 80 godina (Evans, 1997). Rezultati autopsije pokazuju da su mišići kvadricepsa u starijih osoba 18% manji od onih u mlađih odraslih osoba, a ukupni broj vlakana je 25% manji; smanjenje od otprilike 110 000 vlakana pripisuje se procesu starenja (Lexell i sur., 1983).

Slika 4. Stopa gubitka mišićne mase s godinama preuzeto od Buford i sur., 2010. Models of accelerated sarcopenia: critical pieces for solving the puzzle of age-related muscle atrophy.



### 4.3. Spol

Postoje značajne spolne razlike u održavanju i hipertrofiji skeletnog mišićnog tkiva. U prosjeku, žene imaju manje mišićne mase od muškaraca i s apsolutnog i s relativnog stajališta. Muškarci imaju približno 10 kg (22 lb) više nemasne mase u usporedbi sa ženama pri bilo kojoj tjelesnoj težini (Rossettia i sur., 2017). Ta odstupanja postaju očita tijekom puberteta i traju kroz starost (Schoenfeld, 2020).

Vjeruje se da na spolni dimorfizam uvelike utječu hormonalne razlike među spolovima. Razine testosterona kod muškaraca su otprilike 10 puta veće nego kod žena. Testosteron je visoko anabolički hormon koji djeluje povećanjem sinteze miofibrilarnog proteina i smanjenjem razgradnje mišićnog proteina (Zhao i sur., 2008).

## **5. PROGRAM ZA RAZVOJ HIPERTROFIJE**

### **5.1. Volumen**

Volumen se odnosi na količinu vježbi koje se izvode tijekom određenog vremenskog razdoblja. Uobičajeno se izražava kao broj ponavljanja i setova u vježbama s opterećenjem. Međutim, ovakav pristup ne uzima u obzir težinu opterećenja koje se koristi. Zato se precizniji izraz za ukupni izvedeni rad naziva volumensko opterećenje. To je rezultat umnožavanja broja setova, broja ponavljanja i težine opterećenja (Helms i sur., 2015).

### **5.2. Učestalost**

Učestalost vježbanja odnosi se na broj vježbi izvedenih u određenom vremenskom razdoblju, općenito u tjednu (Schoenfeld, 2010). Učestalost također uključuje broj rada na mišićnoj skupini tijekom tjedna. S obzirom na trening hipertrofije, učestalost se može mijenjati kako bi se manipulirao obujmom treninga (Schoenfeld, 2020).

### **5.3. Opterećenje**

Podignuti teret se naširoko smatra jednim od najvažnijih čimbenika u hipertrofičnom odgovoru na trening otpora. Intenzitet opterećenja odnosi se na postotak 1RM korištenog u određenoj vježbi. Na primjer, ako netko može podići najveću težinu bench pressa od 45,5 kg (što se naziva 1RM), te ako izvede seriju s opterećenjem od 36,4 kg, tada bi intenzitet tog opterećenja bio 80% 1RM (Schoenfeld, 2010).

### **5.4. Izbor vježbi**

Ljudsko tijelo dizajnirano je za kretanje u trodimenzionalnom prostoru. Mišićna arhitektura složeno je uređena kako bi učinkovito i djelotvorno izvršila složene obrasce pokreta. Stoga, različiti parametri vježbe (tj. kut povlačenja, ravnina kretanja, položaj ekstremiteta) mogu preferirano ciljati na aspekte muskulature, kao i učiniti sinergiste i stabilizatore aktivnijima ili manje aktivnima (Schoenfeld, 2010). Stoga izbor vježbi može pridonijeti stupnju selektivne hipertrofije određenih mišića (Häkkinen i sur., 2001).

### **5.5. Vrsta mišićne aktivacije**

Kao što je već napomenuto postoje tri osnovne vrste mišićnih aktivnosti: koncentrične, ekscentrične i izometrične. Mehanički gledano, postoji logična osnova da ekscentrična radnja proizvodi najveći anabolički odgovor, a istraživanja se često fokusiraju na ovu vrstu mišićne akcije. Ekscentrična snaga je otprilike 20% do 50% veća od koncentrične snage (Bamman, 2001) i dopušta veća opterećenja tijekom vježbanja. Štoviše, sile generirane tijekom ekscentričnog treninga približno su 45% veće od onih generiranih tijekom koncentričnog treninga (Jones, 1987) i približno dvostruko veće od izometrijskih kontrakcija (Schoenfeld, 2010).

### **5.6. Duljina intervala odmora**

Vrijeme potrebno između serija naziva se interval odmora ili razdoblje odmora. Intervali odmora mogu se klasificirati u tri široke kategorije: kratki (30 sekundi ili manje), umjereni (60 do 90 sekundi) i dugi (3 minute ili više) (Schoenfeld, 2010). Istraživanja pokazuju da duljina intervala odmora ima različite učinke na akutni odgovor na trening otpora, a pretpostavlja se da ti odgovori utječu na kronične hipertrofične prilagodbe (Schoenfeld, 2020).

### **5.7. Trajanje ponavljanja**

Trajanje ponavljanja predstavlja zbroj koncentričnih, ekscentričnih i izometrijskih komponenti ponavljanja, a ovisi o tempu u kojem se ponavljanje izvodi. Tempo se često izražava kao troznamenasti raspored u kojem je prvi broj vrijeme (u sekundama) za dovršetak koncentrične vježbe, drugi broj je izometrijska prijelazna faza između koncentrične i ekscentrične akcije, a treći broj je vrijeme do dovršite ekscentričnu radnju (Ogborn, 2004).

### **5.8. Redoslijed vježbi**

Iako svi smatraju da bi redoslijed vježbanja trebao krenuti od većih prema manjim mišićnim skupinama, istraživanja su dvosmislena o ovoj temi s obzirom na ishode hipertrofije. Kratkoročne studije ukazuju da se izvođenje broja ponavljanja može smanjiti prema kraju treninga, bez obzira na veličinu mišića koji se trenira (Simao, 2012). Međutim, kada se promatraju vježbe s većim opterećenjem i uključenjem više zglobova, primjećuje se veći apsolutni pad u izvedbi kad se takve vježbe izvode nakon onih koje uključuju manje mišićne

skupine. Ovo znači da se ukupno opterećenje, izraženo kao volumen, obično bolje održava kada se vježbe za veće mišićne skupine izvode ranije u treningu (Schoenfeld, 2020).

### **5.9. Raspon pokreta (eng. ROM (range of motion))**

Kada se uspoređuju djelomični i potpuni ROM-ovi, literatura općenito pokazuje hipertrofičnu korist treninga kroz potpuni ROM. To se pokazalo u mišićima gornjeg i donjeg dijela tijela korištenjem raznih vježbi (Schoenfeld, 2020). Pinto i suradnici (2012) pokazali su da potpuni ROM trening fleksora lakta (0° do 130° fleksije) dovodi do većeg povećanja mišićne debljine u usporedbi s djelomičnim treningom (50° do 100° fleksije).

### **5.10. Intenzitet napora**

Intenzitet napora općenito se mjeri blizinom mišićnog otkazivanja, što se definira kao točka tijekom serije u kojoj mišići više ne mogu proizvesti silu potrebnu za koncentrično podizanje određenog tereta (Schoenfeld, 2010).

## 6. OSNOVNI ČIMBENICI MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Tri su osnovna čimbenika u poboljšavanju mišićne hipertrofije izazvane vježbanjem: mehanička napetost, oštećenje mišića i metabolički stres. Ovisno o podražaju, ti čimbenici mogu djelovati u tandemu kako bi proizveli sinergistički učinak na razvoj mišića (Schoenfeld, 2011).

### 6.1. Mehanička napetost

Mehanička napetost može biti najvažniji čimbenik u hipertrofiji mišića izazvanoj treningom (Martineau i Gardiner, 2001). To se najlakše vidi kada se uspoređi trening bodybuildera i maratonca. Maratonac prolazi znatno veći obujam treninga i doživljava slične razine oštećenja mišića u usporedbi s bodybuilderima, ali bodybuilder je 'mišićaviji' zbog dizanja utega. Trening otpora izaziva velike količine mehaničkog opterećenja/napetosti mišića što je primarni poticaj za hipertrofiju (Wackerhage i sur., 2019)

Mehanička napetost nastaje korištenjem velikog tereta i izvođenjem vježbi punim rasponom pokreta kroz određeno vrijeme. Vrijeme koje mišić provede pod tenzijom uzrokovanom vanjskim opterećenjem (uteg, bučica itd.) stvara mehaničku napetost u mišiću. Što je više vremena provedeno pod opterećenjem, veća je mehanička napetost. Međutim, sama napetost neće uzrokovati maksimalan rast mišića. Kako bi izazvao daljnju stimulaciju hipertrofije, mišić također mora proći kroz puni opseg pokreta. Dakle, drugim riječima, podizanje teških utega na kontroliran način, punim rasponom pokreta pospješuje rast mišića (Sowden-Taylor, 2019)

Većina istraživanja pokazuje da je mehanički stres primarni inicijator adaptivnog odgovora mišića tijekom i nakon vježbanja (Antonio, 2000). Membrana mišićne stanice ima receptore koji se stimuliraju mehaničkim podražajem te povećavaju napetost mišića. Prijenos mehaničkih sila događa se i uzdužno duž duljine vlakna i lateralno kroz matriks tkiva fascije (Street, 1983).

### 6.2. Metabolčka napetost/stres

Postoje istraživanja koja dokazuju da će dizanje umjerenih do lakih težina uz više ponavljanja, omogućiti izgradnju tijela i poboljšanje rasta mišića. U mišićima koji se neprestano kontrahiraju i opuštaju stvara se učinak skupljanja krvi unutar mišića (bubrenje stanica). To zauzvrat rezultira ograničenim protokom krvi u mišić i nedostatkom oksigenirane krvi (Sowden-Taylor, 2019).

Metabolički stres nije primarni uzrok mišićne hipertrofije, ali se pokazalo da ima značajan hipertrofični učinak. Metabolički stres u mišićima javlja se kao posljedica anaerobnog metabolizma i nakupljanja metabolita kao što su laktati, vodikovi ioni, anorganski fosfati, kreatin itd.. Metabolički stres je maksimiziran tijekom vježbanja kada je anaerobna glikoliza glavni izvor energije, što se događa kada vježbanje traje oko 15 do 120 sekundi (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022). Ishemija mišića ima dodatni učinak na metabolički stres, koji zajedno s glikolitičkim treningom uzrokuje hormonalne promjene, povećanu hidrataciju stanica, povećanu aktivnost faktora rasta i stvaranje slobodnih radikala. Smatra se da visoke koncentracije vodikovih iona povećavaju proces razgradnje i stimuliraju aktivnost simpatičkog živca te povećavaju adaptivni hipertrofični odgovor (Goto i sur., 2005). Utvrđeno je da tipične rutine bodybuildinga uključuju izvođenje više serija od 8 do 12 ponavljanja po seriji s relativno kratkim intervalima odmora, što povećava metabolički stres u mnogo većoj mjeri nego režimi višeg intenziteta koje tipično koriste powerlifteri (Lambert i Flynn, 2002).

Znanstveni dokazi pokazuju da su obujam treninga, tj. opterećenje, broj ponavljanja i trajanje odmora između intervala važni čimbenici za poticanje nakupljanja metabolita (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022). Gonzalez (2016) otkrio je da manje opterećenje s umjerenim brojem ponavljanjima u kombinaciji s kratkim intervalima odmora (70% 1RM, 10-12 ponavljanja i interval odmora od jedne minute) pokazuje značajno veći porast laktata u krvi, serumske koncentracije laktat dehidrogenaze, hormona rasta (GH) i kortizola u usporedbi s većim opterećenjima, malim brojem ponavljanja u kombinaciji s dužim intervalima odmora (90% 1RM, 3-5 ponavljanja i trominutnim intervalima odmora).

### **6.3. Oštećenje mišića**

Oštećenje mišića bitna je komponenta procesa izgradnje mišića. Oštećenje mišića nastaje tijekom treninga otpora, uglavnom zbog ekscentričnih i koncentričnih kontrakcija. Pojava bolova u mišićima je vrlo čest osjećaj koji pojedinci doživljavaju nakon vježbanja, a to je rezultat mikro pukotina u mišićima kao rezultat oštećenja. Obje vrste kontrakcija uzrokuju oštećenje mišića, ali ekscentrične kontrakcije uzrokuju više štete mišiću nego koncentrične kontrakcije. Stoga bodybuilderi uključuju 'negativna' ponavljanja u svoje režime treninga (Sowden-Taylor, 2019).

Proces oštećenja mišića izazvan treningom i posljedična pojava sinteze mišićnih proteina ključni su čimbenici u nastanku mišićne hipertrofije (Brook i sur., 2015). Značajan doprinos razumijevanju ovih procesa dali su Damas i sur., (2015), koji su ispitali promjene strukture i funkcije mišića u određenim vremenskim razdobljima nakon treninga snage s opterećenjem koje je veći od onoga što osoba obično koristi tijekom treninga. Pregled biopsiranog mišića obavljen je nakon prvog, akutnog treninga, nakon 3 i nakon 10 tjedana treninga (2 puta tjedno). Uz to, otkrili su da je nakon prvog treninga intenzivno oštećenja mikrostruktura mišića, što uzrokuje intenzivnu sintezu mišićnih proteina nakon 24 sata. Nakon 3 tjedna treninga smanjuje se razina oštećenja mišića kao i razina sinteze mišićnih proteina. Nakon razdoblja od 10 tjedana, oštećenje mišića je minimalno, a razina sinteze mišićnih proteina (MPS) nepromijenjena. Ovo istraživanje dovelo je autore do zaključka da je najintenzivniji MPS prisutan zbog popravka oštećene mišićne mikrostruktura, ali ne utječe na mišićnu hipertrofiju. MPS ima najveći utjecaj na mišićnu hipertrofiju nakon 10 tjedana treninga (Damas i sur., 2015).



## **7. TRENING ZA RAZVOJ MIŠIĆNE HIPERTROFIJE**

Forsirana ponavljanja, opadajuće serije, superserije i teški negativni popularne su tehnike treninga za razvoj hipertrofije, stoga sljedeći odjeljci istražuju primjenjivost ovih tehnika (Schoenfeld, 2011).

### **7.1. Forsirana ponavljanja**

Forsirana ponavljanja (tj. potpomognuta ponavljanja) uključuju korištenje asistenta koji pomaže dizaču u izvođenju dodatnih ponavljanja nakon što je osoba dostigla točku kada više ne može izvesti ponavljanje samostalno (Schoenfeld, 2011).

### **7.2. Opadajuće serije**

Slično forsiranim ponavljanjima, opadajuće serije uključuju izvođenje serije do mišićnog otkazivanja s danim opterećenjem, a zatim trenutno smanjenje opterećenja i nastavak vježbanja do sljedećeg otkazivanja. Vjeruje se da ova tehnika može stimulirati veći mišićni rast izazivanjem većeg umora. Za razliku od forsiranih ponavljanja, opadajuće serije ne zahtijevaju nužno prisutnost asistenta, što omogućuje sportašu veću neovisnost pri treniranju (Schoenfeld, 2011).

### **7.3. Superserije**

Superserije je oblik treninga snage u kojem brzo prelazite s jedne vježbe na drugu bez pauze za odmor između dvije vježbe, postoje dva glavna načina izvođenja supersetova koji pružaju prilično različite rezultate, to mogu biti superserije suprotstavljeni mišićnih grupa i superserije istih mišićnih grupa (Quinn, 2022).

#### **7.3.1. Setovi suprotstavljenih mišićnih grupa**

Superset treninga može uključivati rad na dva različita dijela tijela ili rad na suprotnim mišićnim skupinama. Rad na dva različita dijela tijela uključuje izvođenje jedne vježbe za gornji dio tijela (bench press) i zatim odmah prelazak na vježbu za donji dio tijela (potisak za noge). Druga metoda je izmjenjivanje suprotnih mišićnih skupina. Mogu se izvoditi vježbe za prsa, pa zatim vježba za gornji dio leđa (Quinn, 2022).

Ovi supersetovi su vrlo slični kružnom treningu, iako se superserije obično fokusiraju na dvije vježbe odjednom, a kružni trening se sastoji do 10 stanica, oba treninga zahtijevaju malo odmora između vježbi (Quinn, 2022).

### **7.3.2. Setovi istih mišićnih grupa**

Kada se superserija koristi na drugi način, odaberu se dvije različite vježbe koje se izvode na istoj mišićnoj skupini, bez odmora. Primjer ovakve superserije možemo vidjeti u kombinaciji vježbe čučanj i vježbe nožna ekstenzija koju izvodimo odmah nakon čučnja. (Quinn, 2022).

Iako se supersetovi dugo koriste kod bodybuildinga, pretraživanje literature nije uspjelo otkriti nikakve studije koje bi izravno istraživale olakšava li njihova uporaba povećanje mišićnog rasta. Međutim, moguće je da smanjeni odmor između serija povećava umor mišića i metabolički stres, što može pojačati hipertrofiju (Schoenfeld, 2011).

### **7.4. Teški negativni**

Teški negativni (supramaksimalno opterećene ekscentrične radnje) uključuju izvođenje ekscentričnih kontrakcija pri težini većoj od koncentrične 1RM. To obično zahtijeva asistenta koji pomaže koncentrično podići težinu nakon što dizač izvede ekscentrično ponavljanje. Dizač može izvesti više ponavljanja ovisno o intenzitetu treninga (Willardson, 2007). Hather i sur. (1991) otkrili su da se maksimalna hipertrofija mišića kao odgovor na vježbe s otporom ne postiže ako se ne izvode ekscentrične mišićne radnje, uz to ekscentrične radnje povezane su s bržim porastom sinteze proteina.

Opća preporuka je izvođenje teških negativna s opterećenjem između 105 i 125% koncentričnog 1RM. To će omogućiti dizaču da dovrši više ponavljanja supramaksimalnim intenzitetom. Pretpostavlja se da je ekscentrični tempo od 2 do 3 sekunde idealan za maksimiziranje hipertrofičnog odgovora (Schoenfeld, 2010).

Kao i kod forsiranih ponavljanja, loša strana teških negativna je da je za izvedbu potreban asistent, a u slučajevima kada se koriste slobodni utezi, mogu biti potrebna 2 asistenta ako su opterećenja preteška. Uz to, forsirana ponavljanja također preopterećuju neuromuskularni sustav i stoga mogu ubrzati početak pretreniranosti. Stoga je potrebna umjerenost pri korištenju ove tehnike za razvoj hipertrofije (Schoenfeld, 2011).

## 8. HIPERTROFIJA I HORMONI

Pokazalo se da tjelovježba značajno povećava otpuštanje anaboličkog hormona u razdoblju nakon vježbanja. Endokrini sustav utječe na ravnotežu proteina u mišićnim stanicama povezanih s prilagodbama na trening otpora. Razina lučenja svih značajnih anaboličkih hormona povećava se tijekom razdoblja oporavka (Pluncevic Gligoroska et al., 2022).

Hormon rasta (GH), testosteron, inzulin i IGF-1 pokazali su povišenu koncentraciju nakon hipertrofijskog tipa treninga otpora (Fink i sur., 2017). Testosteron je androgeni hormon čiji je anabolički učinak neosporan. Njegovo anaboličko djelovanje pripisuje se povećanju sinteze proteina i smanjenju katabolizma mišićnih proteina (Zhao i sur., 2008). Primjena egzogenog testosterona dovodi do velikog povećanja mišićne mase i kod muškaraca i kod žena bez obzira na dob. Učinci testosterona se pojačavaju u kombinaciji s treningom otpora (Pluncevic Gligoroska i sur., 2022).

Anabolički-androgeni steroidi (AAS) i drugi hormoni kao što su hormon rasta (GH) i faktor rasta sličan inzulinu-1 (IGF-1) dokazano povećavaju mišićnu masu kod pacijenata koji pate od raznih bolesti povezanih s atrofijom mišića. Unatoč poznatim nuspojavama povezanim sa suprafiziološkim dozama takvih lijekova, njihovi anabolički učinci doveli su do njihove raširene upotrebe i zlouporabe od strane bodybuildera i sportaša koji žele poboljšati izvedbu i mišićnu masu (Fink i sur., 2017).

Iako su anabolički učinci anaboličko-androgenih steroida naširoko poznati, postoje znatne kontroverze o hipertrofičnim učincima endogenih hormonalnih elevacija izazvanih treningom otpora. Nedavna studija otkrila je značajnu korelaciju između akutnog povišenja testosterona izazvanog treningom otpora i dugotrajne mišićne hipertrofije (Mangine i sur., 2016), nekoliko drugih nije uspjelo uočiti nikakve povezanosti između ovih varijabli (Fink i sur., 2016; Morton i sur., 2016). Teorija koja podupire anaboličke učinke treningom otpora induciranih povišenja hormona temelji se na konceptu povišenih anaboličkih hormona nakon vježbanja koji se vežu na hormonske receptore i induciraju regulaciju nekoliko unutarstaničnih anaboličkih putova. Međutim, mnoge su studije mjerile samo akutne hormonalne promjene, a nedostaju istraživanja o reakcijama nekoliko dana nakon treninga (Mangine i sur., 2016).

## 9. ZAKLJUČAK

Povećanje mišićne mase i snage proces je koji se naziva mišićna hipertrofija. Povećanje mišićne mase jedan je od ciljeva bodybuildinga, a sve češće i u pojedinaca koji se rekreativno bave fitnessom. Da bi došlo do hipertrofije mišića potrebno je poremetiti dinamičku ravnotežu između sinteze i razgradnje mišićnih proteina u korist sinteze. Na utjecaj hipertrofije posebno treba istaknuti genetiku, dob, spol i iskustvo u treniranju. Postoje različite varijable koje se mogu prilagoditi kako bi se postigla hipertrofija, uključujući volumen, učestalost, opterećenje, izbor vježbi, vrstu mišićne aktivacije, duljinu intervala odmora, trajanje ponavljanja, redoslijed vježbi, raspon pokreta i intenzitet napora. Kako bi se postigla hipertrofija koriste se forsirana ponavljanja, opadajuće serije, superserije i teški negativni. Hipertrofija je i dalje dosta neistražena te sve informacije treba uzimati sa zadržkom, no za sada možemo reći da znamo kako potaknuti hipertrofiju i koji čimbenici utječu na nju. Za točnije i sigurnije rezultate potrebna su dodatna istraživanja.

## 10.LITERATURA

1. Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European journal of applied physiology*, 89(6), 555-563.
2. Antonio, J. (2000). Nonuniform response of skeletal muscle to heavy resistance training: Can bodybuilders induce regional muscle hypertrophy?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(1), 102-113.
3. Bamman, M. M., Shipp, J. R., Jiang, J., Gower, B. A., Hunter, G. R., Goodman, A., ... & Urban, R. J. (2001). Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. *American journal of physiology-endocrinology and metabolism*, 280(3), E383-E390.
4. Barton-Davis, E. R., Shoturma, D. I., & Sweeney, H. L. (1999). Contribution of satellite cells to IGF-I induced hypertrophy of skeletal muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 167(4), 301-305.
5. Biga, L. M., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., ... & Runyeon, J. (2020). *Anatomy & physiology*. OpenStax/Oregon State University.
6. Brook, M. S., Wilkinson, D. J., Mitchell, W. K., Lund, J. N., Szewczyk, N. J., Greenhaff, P. L., ... & Atherton, P. J. (2015). Skeletal muscle hypertrophy adaptations predominate in the early stages of resistance exercise training, matching deuterium oxide-derived measures of muscle protein synthesis and mechanistic target of rapamycin complex 1 signaling. *The FASEB Journal*, 29(11), 4485-4496.
7. Bubnis D., (2020, Jan 29). *How long does it take to build muscle?*. Medical News Today. Preuzeto sa: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/320769>
8. Buford, T. W., Anton, S. D., Judge, A. R., Marzetti, E., Wohlgemuth, S. E., Carter, C. S., ... & Manini, T. M. (2010). Models of accelerated sarcopenia: critical pieces for solving the puzzle of age-related muscle atrophy. *Ageing research reviews*, 9(4), 369-383.
9. Burrows, R., Correa-Burrows, P., Reyes, M., Blanco, E., Albala, C., & Gahagan, S. (2017). Low muscle mass is associated with cardiometabolic risk regardless of nutritional status in adolescents: A cross-sectional study in a Chilean birth cohort. *Pediatric diabetes*, 18(8), 895-902.

10. Burton, L. C., Shapiro, S., & German, P. S. (1999). Determinants of physical activity initiation and maintenance among community-dwelling older persons. *Preventive medicine*, 29(5), 422-430.
11. Damas, F., Phillips, S., Vechin, F. C., & Ugrinowitsch, C. (2015). A review of resistance training-induced changes in skeletal muscle protein synthesis and their contribution to hypertrophy. *Sports medicine*, 45(6), 801-807.
12. Deshmukh, A. S., Murgia, M., Nagaraj, N., Treebak, J. T., Cox, J., & Mann, M. (2015). Deep Proteomics of Mouse Skeletal Muscle Enables Quantitation of Protein Isoforms, Metabolic Pathways, and Transcription Factors\*[S]. *Molecular & Cellular Proteomics*, 14(4), 841-853.
13. Evans, W. (1997). Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *The Journal of nutrition*, 127(5), 998S-1003S.
14. Fink, J. E., Schoenfeld, B. J., Kikuchi, N., & Nakazato, K. (2017). Acute and long-term responses to different rest intervals in low-load resistance training. *International journal of sports medicine*, 38(02), 118-124.
15. Gligoroska, J. P., Manchevska, S., Petrovska, S., & Dejanova, B. (2022). PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF MUSCLE HYPERTROPHY. *Research in Physical Education, Sport & Health*, 11(1). Gundersen, K. (2016). Muscle memory and a new cellular model for muscle atrophy and hypertrophy. *Journal of Experimental Biology*, 219(2), 235-242.
16. Gonzalez, A. M. (2016). Acute anabolic response and muscular adaptation after hypertrophy-style and strength-style resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(10), 2959-2964.
17. 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.
18. Hackett, D. A., Johnson, N. A., & Chow, C. M. (2013). Training practices and ergogenic aids used by male bodybuilders. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1609-1617.
19. Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., & Alen, M. (2001). Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *Journal of applied physiology*, 91(2), 569-580.

20. Hand, B. D., Kostek, M. C., Ferrell, R. E., Delmonico, M. J., Douglass, L. W., Roth, S. M., ... & Hurley, B. F. (2007). Influence of promoter region variants of insulin-like growth factor pathway genes on the strength-training response of muscle phenotypes in older adults. *Journal of Applied Physiology*, *103*(5), 1678-1687.
21. Hather, B. M., Tesch, P. A., Buchanan, P., & Dudley, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, *143*(2), 177-185.
22. 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. *J Sports Med Phys Fitness*, *55*(3), 164-78.
23. Herman, J. R., Rana, S. R., Chleboun, G. S., Gilders, R. M., Hageman, F. C., Hikida, R. S., ... & Toma, K. (2010). Correlation between muscle fiber cross-sectional area and strength gain using three different resistance-training programs in college-aged women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *24*, 1.
24. Hernandez, R. J., & Kravitz, L. (2003). The mystery of skeletal muscle hypertrophy. *ACSMs Health Fit. J*, *7*, 18-22.
25. Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., ... & Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *Journal of applied physiology*, *105*(5), 1454-1461.
26. Hubal, M. J., Gordish-Dressman, H., Thompson, P. D., Price, T. B., Hoffman, E. P., Angelopoulos, T. J., ... & Clarkson, P. M. (2005). Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. *Medicine & science in sports & exercise*, *37*(6), 964-972.
27. Jones, D. A., & Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *The Journal of physiology*, *391*(1), 1-11.
28. Jones, E. J., Bishop, P. A., Woods, A. K., & Green, J. M. (2008). Cross-sectional area and muscular strength. *Sports Medicine*, *38*(12), 987-994.
29. Lexell, J., Henriksson-Larsén, K., Winblad, B., & Sjöström, M. (1983). Distribution of different fiber types in human skeletal muscles: effects of aging studied in whole muscle

- cross sections. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 6(8), 588-595.
30. Lynn, R., & Morgan, D. L. (1994). Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *Journal of applied physiology*, 77(3), 1439-1444.
  31. Martineau, L. C., & Gardiner, P. F. (2001). Insight into skeletal muscle mechanotransduction: MAPK activation is quantitatively related to tension. *Journal of applied physiology*, 91(2), 693-702.
  32. McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of applied physiology*.
  33. Ogborn, D., & Schoenfeld, B. J. (2014). The role of fiber types in muscle hypertrophy: implications for loading strategies. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2), 20-25.
  34. 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2140-2145.
  35. Quinn E. (Sep 29, 2022). *Supersets in Strength Training*. Very well fit. Preuzeto sa: <https://www.verywellfit.com/what-is-a-superset-3120397>
  36. Rossetti, M. L., Steiner, J. L., & Gordon, B. S. (2017). Androgen-mediated regulation of skeletal muscle protein balance. *Molecular and cellular endocrinology*, 447, 35-44.
  37. Schoenfeld, B. (2011). The use of specialized training techniques to maximize muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*, 33(4), 60-65.
  38. Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.
  39. Schoenfeld, B. J. (2020). *Science and development of muscle hypertrophy*. Human Kinetics.
  40. Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of applied physiology*, 102(1), 368-373.
  41. Simao, R., De Salles, B. F., Figueiredo, T., Dias, I., & Willardson, J. M. (2012). Exercise order in resistance training. *Sports medicine*, 42(3), 251-265.



42. Son, J. W., Lee, S. S., Kim, S. R., Yoo, S. J., Cha, B. Y., Son, H. Y., & Cho, N. H. (2017). Low muscle mass and risk of type 2 diabetes in middle-aged and older adults: findings from the KoGES. *Diabetologia*, *60*(5), 865-872.
43. Sowden-Taylor R. (2019, Sep 27). *Muscle Building: The 3 Mechanisms of Hypertrophy*. IONcardiff. Preuzeto sa: <https://ioncardiff.com/the-3-mechanisms-of-hypertrophy/>
44. Srikanthan, P., Horwich, T. B., & Tseng, C. H. (2016). Relation of muscle mass and fat mass to cardiovascular disease mortality. *The American journal of cardiology*, *117*(8), 1355-1360.
45. Street, S. F. (1983). Lateral transmission of tension in frog myofibers: a myofibrillar network and transverse cytoskeletal connections are possible transmitters. *Journal of cellular physiology*, *114*(3), 346-364.
46. Tesch, P. (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, *20*(5 Suppl), S132-4.
47. Tesch, P. A., & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *49*(3), 301-306.
48. Travel R., (2019, Nov 21). *How You Can Use Hypertrophy to Grow Your Muscles*. Mens Health Preuzeto sa: <https://www.menshealth.com/fitness/a25252586/muscle-hypertrophy/>
49. Viecelli, C., & Ewald, C. Y. (2022). The non-modifiable factors age, gender, and genetics influence resistance exercise. *Frontiers in Aging*, 97.
50. Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell biology international*, *24*(5), 263-272.
51. 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*.
52. Waters, D. L., Baumgartner, R. N., Garry, P. J., & Vellas, B. (2010). Advantages of dietary, exercise-related, and therapeutic interventions to prevent and treat sarcopenia in adult patients: an update. *Clinical Interventions in aging*, *5*, 259.
53. Willardson, J. M. (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *21*(3), 979-985.
54. Yamamoto, M., Legendre, N. P., Biswas, A. A., Lawton, A., Yamamoto, S., Tajbakhsh, S., ... & Goldhamer, D. J. (2018). Loss of MyoD and Myf5 in skeletal muscle stem cells results in altered myogenic programming and failed regeneration. *Stem cell reports*, *10*(3), 956-969.

55. Zatsiorsky, V. M., Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (2020). *Science and practice of strength training*. Human Kinetics.
56. Zhao, W., Pan, J., Zhao, Z., Wu, Y., Bauman, W. A., & Cardozo, C. P. (2008). Testosterone protects against dexamethasone-induced muscle atrophy, protein degradation and MAFbx upregulation. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, *110*(1-2), 125-129.

## 11. ŽIVOTOPIS

### OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Filip Ogrizek

Mjesto i datum rođenja: Osijek, 19.5.2000.

Adresa: Ulica Šandora petefija 54a Osijek

Kontakt: 091 911 6788

E-mail: fogrizek@kifos.hr / ogrizek.filip@gmail.com

### OBRAZOVANJE

2007. – 2015. Osnovna škola Retfala Osijek

2015. – 2019. II. gimnazija Osijek

2019. – danas Kineziološki fakultet Osijek