

FIZIOLOGIJA I POSTUPCI RAZVOJA MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Poropat, Karla

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Health Studies / Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:537157>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Health Studies - FHSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
FIZIOTERAPIJA

Karla Poropat

FIZIOLOGIJA I POSTUPCI RAZVOJA MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Završni rad

Rijeka, 2021.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF HEALTH STUDIES
GRADUATE UNIVERSITY STUDY OF PHYSIOTHERAPY

Karla Poropat

PHYSIOLOGY AND METHODS OF DEVELOPMENT OF
MUSCLE HYPERTROPHY

Final work

Rijeka, 2021.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. STRUKTURA I FUNKCIJA MIŠIĆA	1
2.1. Građa mišićnog vlakna.....	2
2.2. Vrste mišićnih vlakana.....	7
2.3. Model klizanja mišićne kontrakcije.....	8
2.3.1. Mehanizam mišićne kontrakcije.....	8
2.4. Vrste mišićnih kontrakcija.....	11
3. VRSTE MIŠIĆNE HIPERTROFIJE	12
3.1. Miofibrilarna hipertrofija.....	12
3.2. Sarkoplazmatska hipertrofija.....	12
4. MEHANIZMI HIPERTROFIJE	15
4.1. Mehanička napetost.....	15
4.1.1. Satelitske stanice.....	15
4.2. Oštećenje mišića.....	17
4.3. Metabolički stres.....	17
4.3.1. Metabolički stres pri većim opterećenjima u odnosu na manja opterećenja.....	18
4.3.2. Bubrenje stanica.....	19
5. ČIMBENICI TRENINGA S OTPOROM U ODNOSU NA HIPERTROFIJU ...20	20
5.1. Volumen.....	20
5.2. Frekvencija.....	21
5.3. Opterećenje.....	22
5.4. Odabir vježbi.....	24
5.5. Vrsta mišićne aktivacije.....	25
5.6. Duljina intervala odmora.....	27
5.7. Redoslijed vježbi.....	28
5.8. Opseg pokreta.....	29
5.9. Intenzitet napora.....	30
6. HORMONSKI ODGOVOR NA ČIMBENIKE TRENINGA S OTPOROM31	31
6.1. Inzulinu sličan faktor rasta 1 (IGF-1).....	31
6.2. Hormon rasta.....	31

6.3. Testosteron.....	32
6.4. Inzulin.....	32
7. PREHRANA ZA POSTIZANJE MIŠIĆNE HIPERTROFIJE.....	34
7.1. Energetska ravnoteža.....	34
7.2. Makronutrijenti.....	35
7.2.1. Proteini.....	35
7.2.2. Ugljikohidrati.....	36
7.2.3. Masti.....	37
7.3. Mikronutrijenti.....	38
7.4. Dodaci prehrani.....	39
8. ZAKLJUČAK.....	40
LITERATURA.....	41

SAŽETAK

Mišićnom hipertrofijom nazivamo proces povećanja mišićne mase, a javlja se kao učinak dugoročnog vježbanja. Dijelimo je na miofibrilarnu i sarkoplazmatsku hipertrofiju čije se karakteristike razlikuju ovisno o načinu treniranja. Za pokretanje mišićnog rasta odgovorni su signalni mehanizmi; a ovdje ubrajamo mehaničku napetost, metabolički stres i oštećenje mišića. Stimuliranje rasta mišića odvija se primjenom odgovarajućeg programa treninga s otporom; modificiranjem volumena treninga, učestalosti treniranja, opterećenja, duljine odmora, vrste vježbi, opsega pokreta, redoslijeda vježbi te vrste mišićne aktivacije, utječe se na mišićno živčani sustav i adaptaciju mišića. Izlaganje mišića naporu tijekom treninga i postupnim povećavanjem opterećenja, dovodi do oštećenja mišićnih vlakana, a popravak rezultira prilagodbom u smislu povećanja veličine i snage. Osim treninga, za postizanje hipertrofije jednako je važna kvalitetna i uravnotežena prehrana te odgovarajući odmor. Za rast mišića važno je ostvariti optimalan kalorijski suficit unosom potrebnih makronutrijenata u obliku proteina, masti i ugljikohidrata. Najveći značaj pridaje se unosu proteina jer su oni izravno zaslužni za mišićnu sintezu proteina u tijelu što znači da su potrebni u obnovi tkiva nakon stresa prouzročenog treningom. Također u prehrani trebaju biti zastupljeni vitamini, minerali, elementi u tragovima i vlakna. Ovaj rad donosi prikaz općih smjernica za poticanje rasta mišića temeljen na istraživanjima te objašnjava cjelokupan proces mišićne hipertrofije.

Ključne riječi: hipertrofija, mišićni rast, miofibrili, trening s otporom, volumen treninga, opterećenje.

SUMMARY

Muscle hypertrophy is the process of increasing muscle mass, and it occurs as an effect of long-term exercise. It is divided into myofibrillar and sarcoplasmic hypertrophy, the characteristics of which differ depending on the method of training. Signal mechanisms are responsible for initiating muscle growth; and here we include mechanical tension, metabolic stress, and muscle damage. Stimulation of muscle growth takes place by applying an appropriate resistance training program; by modifying training volume, training frequency, load, rest length, type of exercise, range of motion, sequence of exercises, and type of muscle activation, the musculoskeletal system and muscle adaptation are affected. Exposing muscles to exertion during training and gradually increasing the load, leads to damage to muscle fibers, and repair results in adjustment in terms of increasing size and strength. In addition to training, quality and balanced nutrition and adequate rest are equally important for achieving hypertrophy. For muscle growth, it is important to achieve an optimal caloric surplus by ingesting the necessary macronutrients in the form of protein, fat and carbohydrates. The greatest importance is attached to protein intake because they are directly responsible for muscle protein synthesis in the body which means they are needed in tissue regeneration after stress caused by training. Vitamins, minerals, trace elements and fiber should also be present in the diet. This paper provides an overview of general guidelines for stimulating muscle growth based on research and explains the whole process of muscle hypertrophy.

Key words: hypertrophy, muscle growth, myofibrils, resistance training, training volume, load.

1. UVOD

Mišićna hipertrofija je proces povećanja mišićne mase, a ujedno i snage. Fiziološkim procesom dolazi do povećanog broja kontraktilnih proteina, aktina i miozina, u svakom mišićnom vlaknu. Povećanje dimenzije mišića posljedica je povećanja veličine pojedinih mišićnih vlakana. Promjene u strukturi mišića događaju se kao adaptacijski odgovor na funkcionalne zahtjeve; izlažući mišić određenom naporu, dolazi do širenja i jačanja mišićnih vlakana kreirajući na taj način snažnije mišiće koji će moći podnijeti novo opterećenje. Osim skeletnih i srčani mišići na taj se način prilagođavaju sve većim radnim opterećenjima koja premašuju postojeću sposobnost mišićnih vlakana. Kod srčanog mišića, srce učinkovitije istiskuje krv iz svojih komora, dok kod skeletnih mišića dolazi do učinkovitijeg prenošenja sila putem tetiva na kost (1). Osnovno sredstvo za rast mišićnog tkiva je fizička aktivnost s velikim opterećenjima i odgovarajuća prehrana.

Razlikujemo dvije vrste mišićne hipertrofije, miofibrilarnu i sarkoplazmatsku. Miofibrilarnom hipertrofijom dolazi do povećanja veličine mišićnih vlakana kao rezultat povećanja broja aktinskih/miozinskih niti unutar stanice. Ova vrsta hipertrofije dovodi do povećanja gustoće filamenata te za razliku od sarkoplazmatske, povećava se snaga mišića. Kod sarkoplazmatske hipertrofije povećava se razina sarkoplazme i nekontraktilnih proteina što dovodi do povećanja poprečnog presjeka mišića ali gustoća miofibrila u mišićnom vlaknu se smanjuje (2).

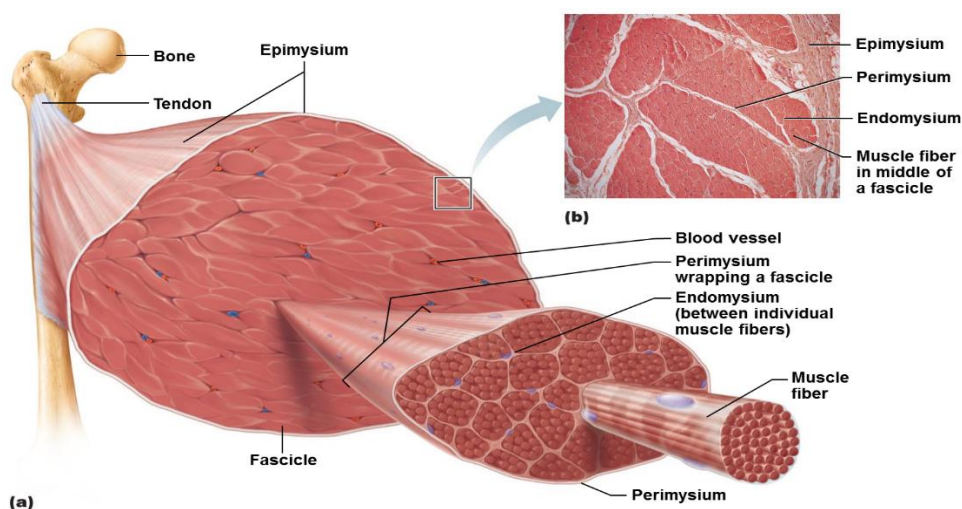
Cilj ovog završnog rada je pobliže objasniti nastanak izgradnje mišića te opisati što se događa u stanicama te što je potrebno za postizanje tog procesa.

2. STRUKTURA I FUNKCIJA SKELETNIH MIŠIĆA

Mišići su aktivni pokretači ljudskog tijela, a razlikujemo tri vrste mišića, skeletni, glatki i srčani. U ovom radu bit će opisani skeletni mišići i proces njihove izgradnje.

Skeletni mišići pripadaju skupini poprečno-prugastih mišića i pod utjecajem su naše volje. Skeletni mišić je organ koji se sastoji od različitih integriranih tkiva, a ona uključuju mišićna vlakna, krvne žile, živčana vlakna i vezivno tkivo (3). Svaki skeletni mišić ima tri sloja vezivnog tkiva koja pružaju strukturu mišiću i razdvajaju mišićna vlakna. S vanjske strane nalazi se epimizij, omotač od gustog vezivnog tkiva koji omogućava mišiću da se kontrahira i snažno kreće, zadržavajući strukturni integritet. Epimizij također odvaja mišiće od ostalih tkiva i organa u tom području, omogućavajući mišiću neovisno kretanje. Unutar mišića mišićna vlakna organizirana su u snopove, fascikule, a omotani su u ovojnicu vezivnog tkiva pod nazivom perimizij. U fascikuli mišićno vlakno, koje predstavlja mišićnu stanicu, obavijeno je endomizijem, tankim slojem veziva kolagena i retikularnih vlakana. Važnost endomizija je u prenošenju sile na tetive (3,4). Epimizij, perimizij i endomizij tvore debelu tetivu poput konopa ili široku, ravnu aponeurozu a one povezuju mišić za periost kostiju ili za vezivno tkivo drugih mišića.

Skeletni mišići bogato su opskrbljeni krvnim žilama koje ga prehranjuju, isporučuju kisik i uklanjaju otpad te je svako mišićno vlakno opskrbljeno aksonskom granom somatskog motoričkog neurona (4).

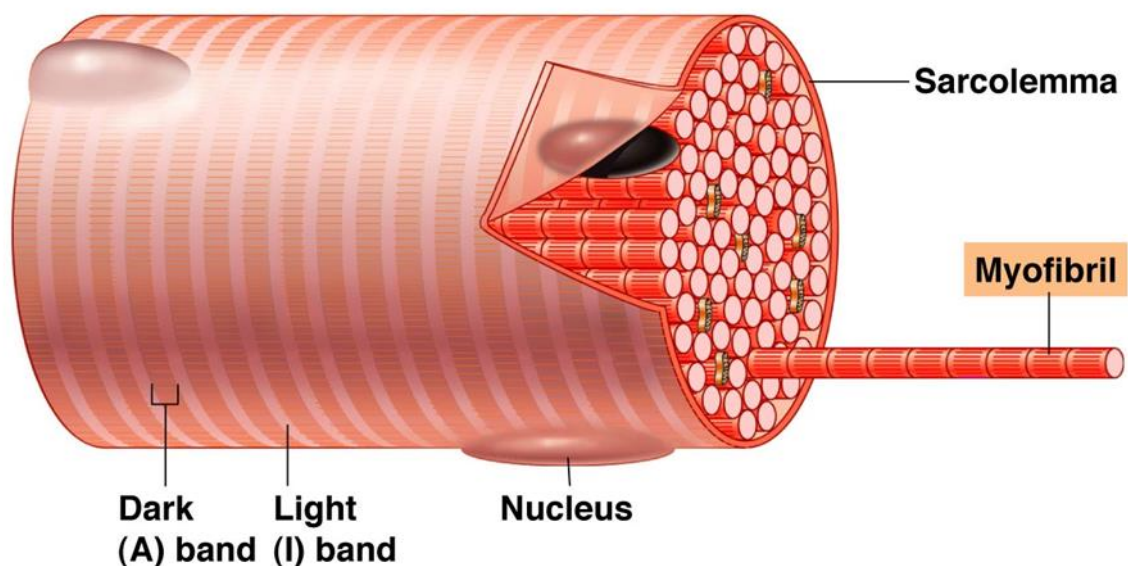


Slika 1. Prikaz građe mišića

Preuzeto sa: <https://classconnection.s3.amazonaws.com/388/flashcards/3625388/png/picture3-14109C07C8C43899100.png>

1.1. Građa mišićnog vlakna

Mišićno vlakno predstavlja visoko specijaliziranu mišićnu stanicu cilindričnog oblika. Izvana je obavijeno plazmatskom membranom pod nazivom sarkolema. Unutrašnju strukturu čine gusto poredane cilindrične strukture, miofibrili dok se jezgre mišićnog vlakna nalaze na vanjskoj strani (3). Miofibrili su kontraktilni elementi i odgovorni su za kontrakciju mišićnog vlakna. To su visoko organizirani kompleksi građeni od proteina, a kao rezultat poretka proteina u miofibrilima, vidimo poprečno-prugavost mišićnog vlakna. Dakle prugasti uzorak mišićnog vlakna potječe od izmjeničinih tamnih A-pruga i svijetlih I-pruga što je prikazano na slici 2.

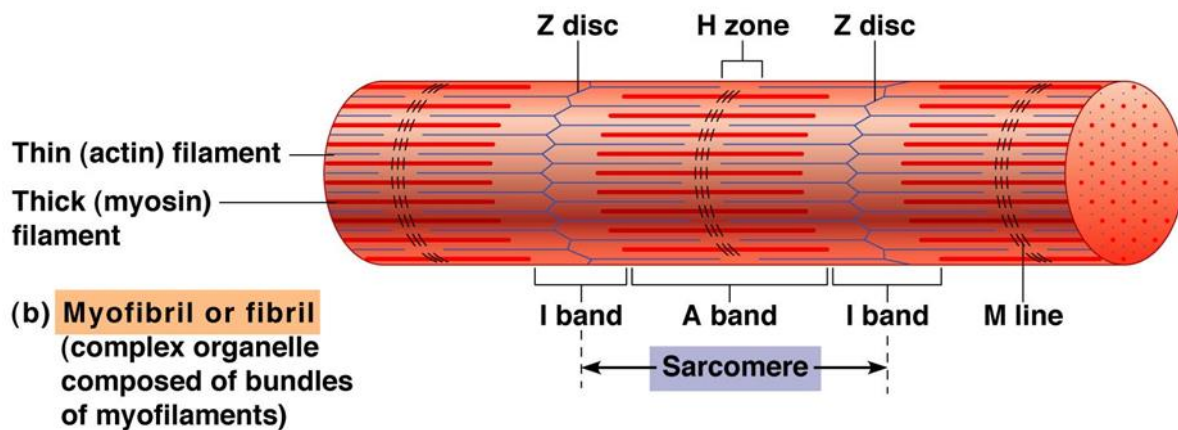


Slika 2. Građa mišićnog vlakna s vanjske strane

Preuzeto sa:

http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Elementary%20Anatomy%20and%20Physiology%2050/Lecture%20outlines/06_03Figurea-L.jpg

Prostore između miofibrila ispunjava sarkoplazma, tekući dio koji sadrži proteine, minerale, glikogen, masti i potrebne organele (4).

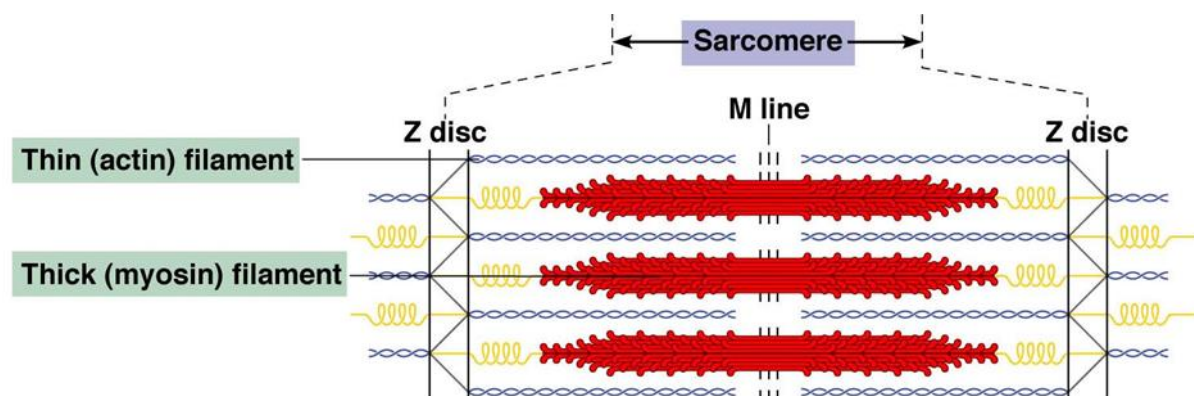


Slika 3. Prikaz građe miofibrila

Preuzeto sa:

http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Elementary%20Anatomy%20and%20Physiology%2050/Lecture%20outlines/06_03Figureb-L.jpg

Miofibrili se sastoje od uzastopno poredanih sarkomera. Sarkomera je najmanja kontraktilna jedinica miofibrila. Svaka sarkomera sastoji se od proteina, akina i miozina. Kao što se vidi na slici 3, sarkomera se proteže od sredine I-linije do sredine sljedeće I-linije. U sredini I-linije nalazi se linija pomoćnih proteina pod nazivom Z-linija (disk) koja određuje početak i kraj sarkomere.

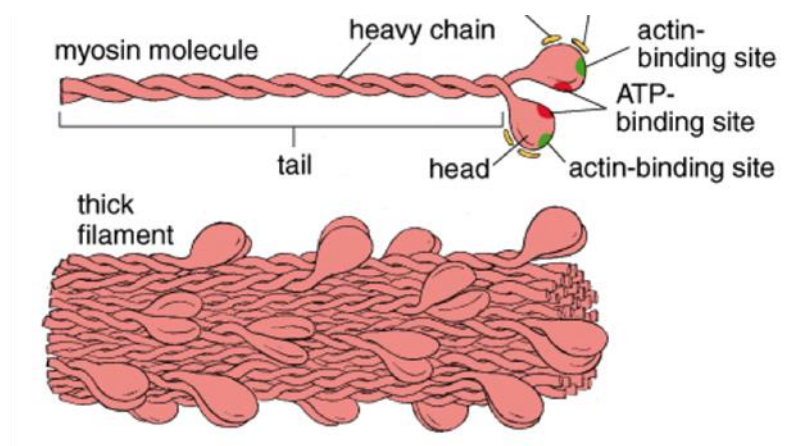


Slika 4. Prikaz strukture pojedine sarkomere

Preuzeto sa:

<http://droualb.faculty.mjc.edu/Course%20Materials/Elementary%20Anatomy%20and%20Physiology%2050/Lecture%20outlines/sarcomere.jpg>

U sredini sarkomere nalazi se M-linija koja se također sastoji od pomoćnih proteina (3). Kada govorimo o kontrakciji mišića, kao najvažniji proteini navode se tanki filamenti aktina i deblji filamenti miozina. Osim toga postoje i elastični filamenti (na slici označeni žutom bojom) nalik opruzi; oni su polimeri proteina titina, a protežu se kroz sredinu debljih filamenata te učvršćuju miozin sa Z-linijom. Filamenti titina važni su jer omogućavaju mišiću da se vrati u opušteni položaj nakon kontrakcije (5).

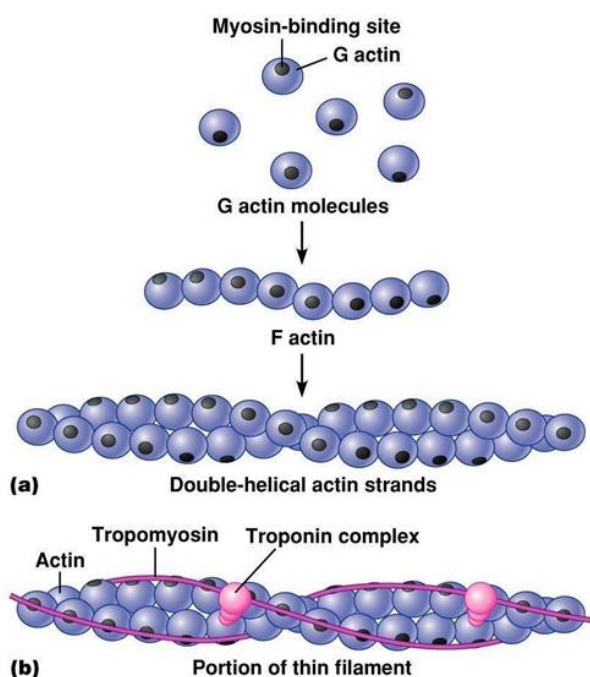


Slika 5. Struktura debljeg filameta miozina

Preuzeto sa:

http://classconnection.s3.amazonaws.com/690/flashcards/629690/png/myosin_bundle1314394028755.png

Deblji filamenti sastoje se od mnogo kopija miozina čiju građu čini dugi rep i glava. Glava miozina sadrži vezno mjesto za molekulu aktina te mjesto za vezanje i razgradnju ATP-a. Između glave i repa nalazi se fleksibilno mjesto koje omogućava glavi miozina da se pokreće.



Slika 6. Struktura tankog filameta aktina

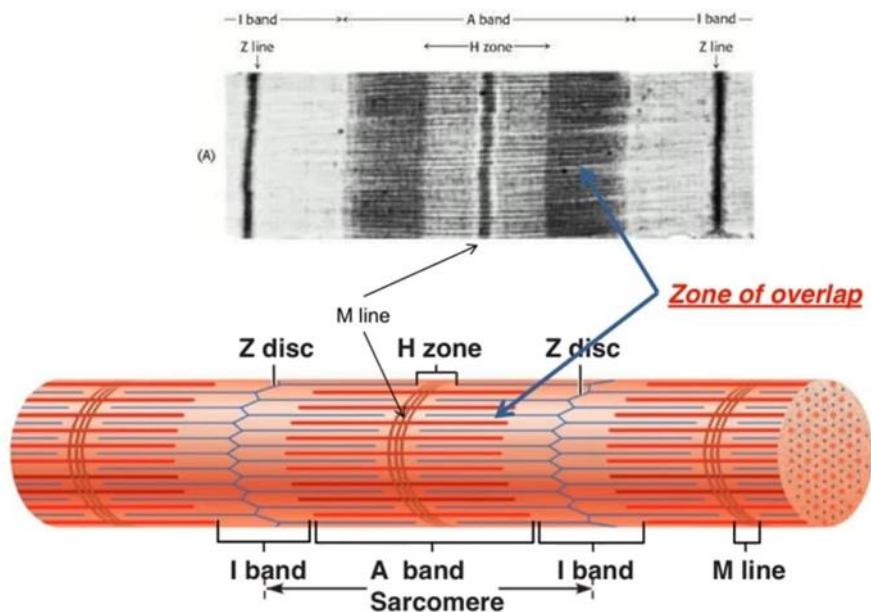
Preuzeto sa: <https://media.cheggcdn.com/media/dad/dad5a0c6-3531-4bec-8255-466914948de6/image061363625276416.jpg>

Tanke filamente čine dvije spiralne podjedinice aktina. Svaki pojedini protein aktina ima oblik loptice sa aktivnim mjestom za vezanje glave miozina. Spajanjem svih molekula aktina dobivamo tanki filament odnosno izduženi polimer proteina aktina (4). S tankim filamentom povezane su još dvije regulatorne molekule; troponin i tropomiozin. Oni zajedno kontroliraju vezanje glave miozina na aktin. Kada je mišić relaksiran, molekula tropomiozina prekriva aktivna mjesta aktina. Troponin, s druge strane, predstavlja kuglasti kompleks sastavljen od tri polipeptida za vezanje aktina, tropomiozina i kalcija te je njegova uloga i u pridržavanju tropomiozina osiguravajući njegov položaj i ulogu prekrivanja aktivnih mjesta aktina (6).

Kada je mišić stimuliran, odnosno spreman za kontrakciju; troponin mijenja svoj oblik te pomiče tropomiozin sa aktivnih mjesta aktina dozvoljavajući na taj način vezanje glave miozina na aktin. Dakle aktivacija mišićnog vlakna uzrokuje promjenu oblika troponina i pomicanje tropomiozina te se na taj način omogućava glavi miozina da se veže za aktin i započne proces klizanja (jedno uz drugo), što zapravo uzrokuje kontrakciju mišića (4,6).

Poprečna prugavost skeletnih mišića

Poredak tankih i debelih filamenata uzrokuje pojavu pruga na miofibrilima i posljedično na skeletnom mišiću, gledajući mikroskopom.

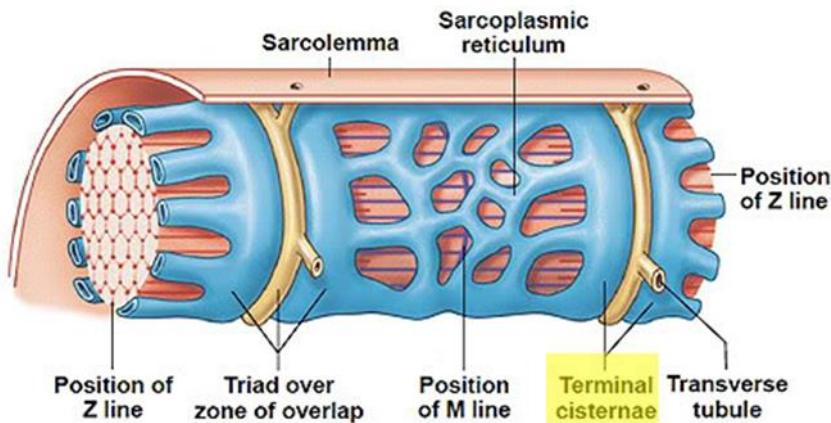


Slika 7. Prikaz poprečne prugavosti skeletnih mišića

Kao što je prikazano na slici 7, A- linija predstavlja središnji dio sarkomere, a najtamniji dijelovi A-linije su mjesta gdje se nalaze i debeli i tanki filamenti te se na mikroskopu očituje tamno jer sadrži gusto poredane proteine. S druge strane, I-linija sadrži samo tanke filamente te je pod mikroskopom mnogo svjetlija.

Mjesto gdje se nalaze i tanki i debeli filamenti izuzetno je važno za kontrakciju mišića, a naziva se zonom preklapanja. To je jedino mjesto gdje se miozin može vezati za aktin. Kada dođe do kontrakcije mišića, glava miozina poveže se s aktinom i povlači aktin prema sredini sarkomere; to se događa u svim sarkomerama u svim miofibrilima istovremeno (6).

Osim navedenih struktura, važno je spomenuti sarkoplazmatski retikulum. To je membranski sustav sastavljen od niza tubula koji obavija svaki pojedini miofibril. Ima važnu ulogu u pohrani i regulaciji razine kalcija koja je potrebna za kontrakciju mišića. Struktura obuhvaća T-tubule (transverzalni tubuli) koji prekrivaju svaki spoj A-linije s I-linijom. Okružujući sarkomeru, T-tubuli pomažu u prijenosu signala do svake mišićne stanice (6).



Slika 8. Sarkoplazmatski retikulum

Preuzeto sa: <https://images.genius.com/9a84938a3460f2ee915ffde1d070c273.471x236x1.png>

1.2. Vrste mišićnih vlakana

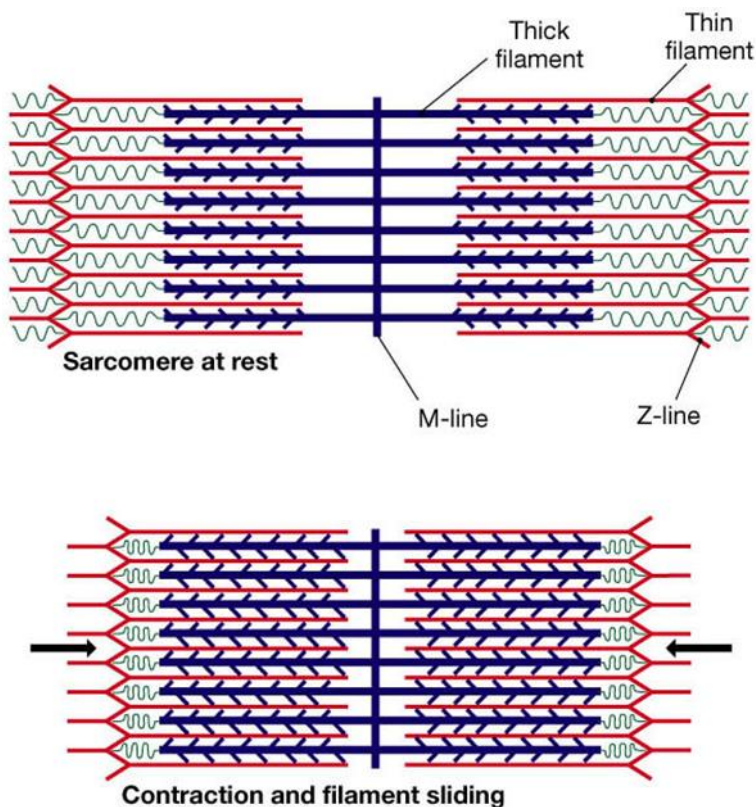
Mišićna vlakna dijele se u dvije glavne skupine; vlakna tipa I i vlakna tipa II:

- Vlakna tipa I nazivaju se i sporo kontrahirajuća vlakna; sadrže velike količine mitohondrija i mioglobina te su bogato opskrbljena krvlju. Prevladavaju u posturalnim mišićima, vrlo su otporna na zamor a samim time prikladna su za dugotrajne aktivnosti umjerenog ili visokog intenziteta koje zahtijevaju mišićnu izdržljivost (7).
- Vlakna tipa II ili brzo kontrahirajuća vlakna sadrže manje mitohondrija te su podložna bržem zamoru. Razlikuju se od vlakana tipa I u brzini stvaranja energije potrebne za kontrakciju mišića. Ova vlakna energiju potrebnu za aktivnost stvaraju dvostruko brže od vlakana tipa I te su zaslužna za aktivnosti snage koje zahtijevaju neprestani napor npr. dizanje utega ili za kratkotrajne aktivnosti visokog intenziteta poput sprinta (8).

Unatoč činjenici da ljudsko tijelo u prosjeku sadrži jednak broj vlakana tipa I i II, postoje dokazi da se u određenim mišićima nalazi veći postotak jedne skupine vlakana; tako m. soleus koji je orijentiran na izdržljivost sadrži više od 80% vlakana tipa II dok m. triceps brachi, orijentiran na snagu, sadrži 60% tih vlakana (6).

1.3. Model klizanja mišićne kontrakcije

Mišića kontrakcija nastaje skraćivanjem mišićnih vlakana, a ta pojava odvija se kada niti aktina i miozina klize jedne pored drugih (9). Kada se mišić kontrahira, dolazi do klizanja filamenata aktina uz miozin te dolazi do povezivanja glava miozina i molekula aktina na obje strane M-linije. Glave miozina započinju sagorijevati ATP, te se savijaju prema gore i pomiču filamente aktina prema M-liniji. Ovaj proces označava model klizanja filamenata, uzrokuje skraćenje miofibrila i uzrokuje kontrakciju (8).

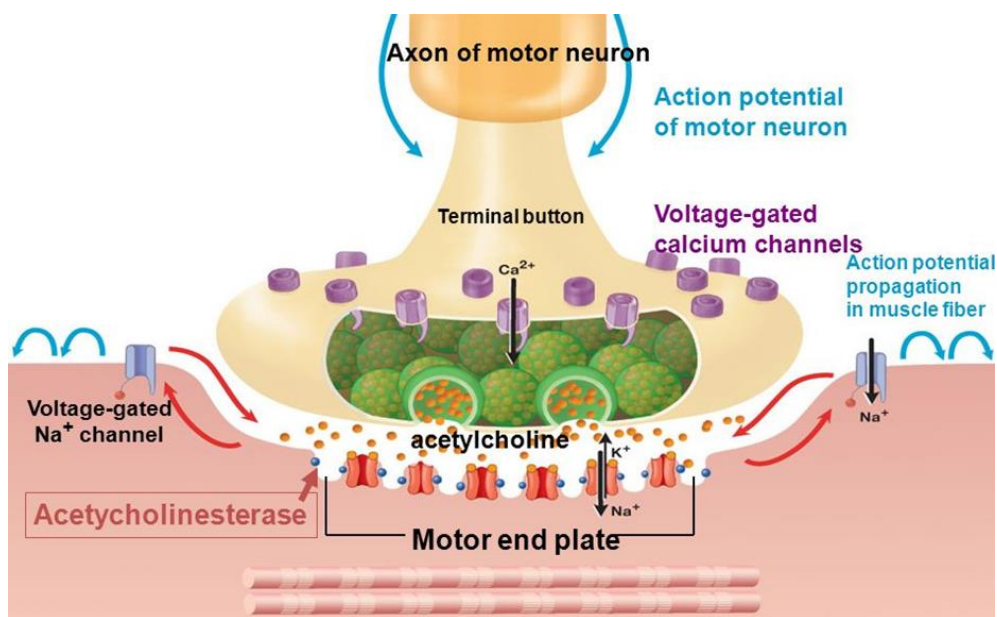


Slika 9. Model klizanja mišićne kontrakcije

Preuzeto sa: http://droualb.faculty.mjc.edu/Lecture%20Notes/Unit%203/sliding_filament.jpg

1.3.1. Mehanizam mišićne kontrakcije

Mišićna kontrakcija primarno započinje u mozgu, signalom iz središnjeg živčanog sustava. Svako mišićno vlakno posjeduje spoj s stanicom živčanog sustava, što nazivamo neuromuskularni spoj.



Slika 10. Neuromuskularni spoj

Preuzeto sa:

https://useruploads.socratic.org/NPOPPI2JTRCdcQSmKs7w_Nerve%2Bmeets%2Bmuscle%2BAcetylcholinesterase%2BMotor%2Bend%2Bplate.jpg

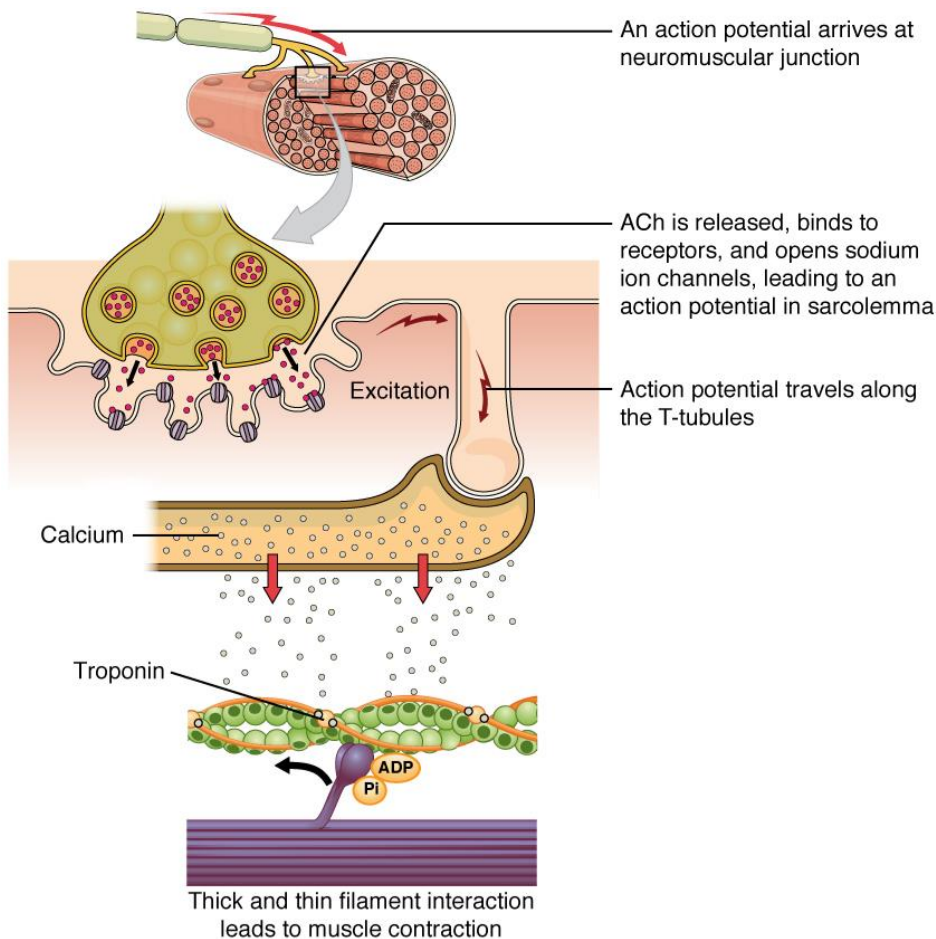
Prostor između mišićnog vlakna i živčanog završetka naziva se sinaptička pukotina; na tom mjestu mišićno vlakno stvara spojne nabore na postinaptičkoj membrani. Živčani završetci sadrže brojne sinaptičke vezikule koji sadrže neurotransmiter acetilkolin. Sukladno tome, spojni nabori sadrže receptore na koje će se acetilkolin vezati (9).

Kao što je u prethodnom dijelu spomenuto, miozin za sebe veže molekulu ATP-a. ATP osigurava energiju potrebnu za pokretanje pokreta klizanja i povlačenja između aktina i miozina. Glava miozina posjeduje ATPaznu aktivnost što znači da razgrađuje ATP u ADP i neorganski fosfat koji ostaju vezani za miozinsku glavu (10).

Kada živčani impuls stigne do aksona, on stimulira kanale kalcija regulirane naponom. Procesom difuzije, kalcij, kojeg izvan živčanog završetka ima više, ulazi u živčano vlakno i veže se za vezikule ispunjene acetilkolinom. Ovaj proces olakšava spajanje vezikula s plazma membranom aksona i otpuštanje acetilkolina u sinaptičku pukotinu.

Acetilkolin se zatim veže za receptore na sarkolemi mišićne stanice koji ujedno predstavljaju kanale za natrij (11). Vezivanje ACh stimulira receptore i uzrokuje otvaranje kanala te natrij iz sinaptičke pukotine ulazi u mišićnu stanicu i proizvodi živčani impuls; istovremeno ioni kalija napuštaju mišićnu stanicu. Ulazak većeg broja iona natrija u mišićnu stanicu u odnosu na izlazak iona kalija dovodi do promjene membranskog potencijala (9).

Prije otvaranja kalijevih kanala, unutrašnjost stanice bila je negativno nabijena; nakon ulaska iona natrija događa se depolarizacija. Ova pojava dovodi do otvaranja ostalih kanala za natrij i ulaska veće količine natrija prateći elektrokemijski gradijent. Kada je postignut određeni prag napona, proizvodi se akcijski potencijal te natrij ulazi dublje u membranu stanice. Istovremeno enzim acetilkolinesteraza u sinaptičkoj pukotini razgrađuje acetilkolin te se ionski kanali zatvaraju sprječavajući daljnju kontrakciju mišića (9,10).



Slika 11. Prijenos živčanog impulsa u mišić

Preuzeto sa: <https://openstax.org/resources/d27415657173fa90321a95a51a9637b20d168b70>

Akcijski potencijal prenosi se dublje u sarkoplazmu pomoću T-tubula te stimulira sarkoplazmatski retikulum koji sadrži rezerve kalcija da oslobodi kalcij u sarkoplazmu mišićne stanice. Kalcij zatim dolazi do miofibrila i veže se na molekule troponina što uzrokuje promjene u strukturi molekule i pomicanje tropomiozina i oslobađanje aktivnih mjesta na aktinskim filamentima. Miozinske glavice koje su u visokoenergetskom stanju sada se mogu vezati na aktivna mjesta na aktinu pri čemu se oslobađa neorganski fosfat. Ovim procesom formirani su aktinsko-miozinski spojevi tzv. poprečni mostovi. Spoj između aktina i miozina ubrzava

razgradnju ADP-a a oslobođena energija je iskorištena za savijanje glave miozina. Savijanje glave miozina povlači aktinski filament a time i Z-liniju prema sredini sarkomere uzrokujući njezino skraćivanje (9).

Iscrpljivanjem razine kalcija, troponin se vraća u prvobitan oblik, tropomiozin blokira vezna mjesta na aktinu te se mišić relaksira (10).

Nakon prolaska vala depolarizacije događa se repolarizacija uzrokovana gustoćom naboja. Kalijevi ioni se otvaraju te kalij kojeg ima više unutar stanice difundira iz mišićnog vlakna što vraća negativni naboj unutar stanice. Mišićna stanica u tom je trenutku spremna za ponovnu stimulaciju živčanim impulsom (11).

1.4. Vrste mišićnih kontrakcija

Mišićna kontrakcija naziv je za proces u kojem sila u mišićnom tkivu uzrokuje promjenu njegove geometrije ili drugim riječima, to je aktivacija koju stvara napetost unutar mišićnih stanica. Mišićnu kontrakciju možemo opisati na temelju dvije varijable; duljine i napetosti. Ako kontrakcija mišića rezultira promjenom u mišićnoj napetosti ali duljina mišića ostane ista, govorimo o izometričkoj kontrakciji; a ako napetost mišića ostane nepromijenjena s promjenom njegove duljine radi se o izotoničkoj kontrakciji (12).

Izotoničku kontrakciju stoga možemo podijeliti na dvije vrste:

1. **Koncentrična kontrakcija**- nastaje kada se mišić skraćuje pri kontrakciji odnosno dolazi do skraćivanja mišićnih vlakana pri izvođenju aktivnosti. Primjerice podizanjem teškog tereta mišići se stežu i stvara se sila (8).
2. **Ekscentrična kontrakcija**- prilikom aktivnosti dolazi do aktivnog produljenja mišića. Kao primjer može se navesti spuštanje teškog tereta; mišići ruku se produljuju kako bi prenijeli težinu u drugi položaj (8).

Izometrička kontrakcija događa se kad mišić aktivno zadržava položaj odnosno određenu duljinu. Obje insercije mišića su fiksirane te kontrakcija ne dovodi do skraćivanja već do povećanja mišićne napetosti, primjerice kada nosimo teret ispred tijela (12). U nastavku rada bit će pobliže objašnjeno na koji način pojedina vrsta kontrakcije pridonosi hipertrofiji.

3. VRSTE MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Kao što je na početku rada spomenuto, hipertrofija označava povećanje veličine mišića, njegove mase i poprečnog presjeka stoga razlikujemo dvije osnovne vrste mišićne hipertrofije (2).

3.1. *Miofibrilarna hipertrofija*

Miofibrilarna hipertrofija predstavlja povećanje veličine i broja kontraktilnih elemenata, aktina i miozina te povećanje broja sarkomera u niz ili paralelu.

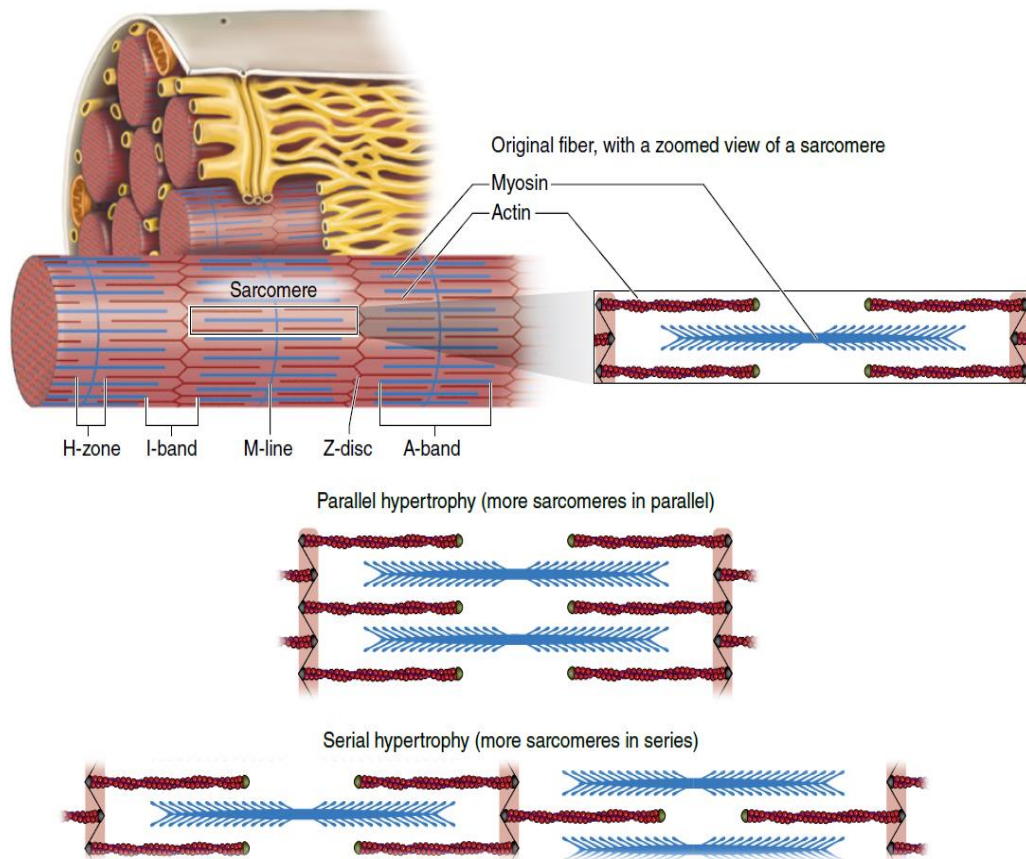
Većina hipertrofičnih odgovora nakon treninga s otporom rezultat je paralelno dodanih sarkomera. Izlažući skeletni mišić podražaju preopterećenja, dolazi do poremećaja u miofibrilima i izvanstaničnom matriksu što dovodi do povećanja veličine i broja kontraktilnih proteina, aktina i miozina te ukupnog broja sarkomera u paralelu. U konačnici, povećava se promjer pojedinih vlakana, a time i poprečni presjek mišića (2).

Serijsko povećanje broja sarkomera javlja se kada se mišić nastoji prisilno prilagoditi novoj funkcionalnoj duljini. Primjerice ova se pojava javlja kod udova u gipsu, imobilizacija mišića u istegnutom položaju rezultirat će povećanim brojem sarkomera u seriju, dok će imobilizacija skraćenog mišića dovesti do smanjenja sarkomera u seriji (2,13).

Istraživanje provedeno na štakorima 1994. godine, pokazalo je da penjanje štakora na traku s nagibom dovodi do nižeg broja sarkomera dok se kod onih štakora koji su se spuštali niz traku broj sarkomera povećavao. Zaključak ovog istraživanja je da ponovljene ekscentrične kontrakcije rezultiraju većim brojem sarkomera u nizu, a vježbanje koje se sastoji isključivo od koncentričnih kontrakcija dovodi do serijskog smanjenja duljine sarkomera (14).

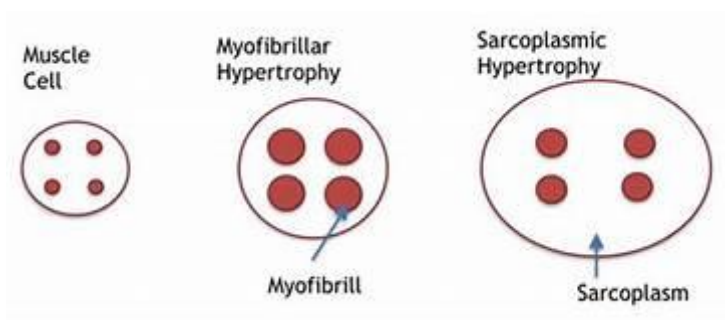
3.2. *Sarkoplazmatska hipertrofija*

Hipertrofija može nastati povećanjem broja i volumena nekontraktilnih elemenata; organela (mitohondriji, sarkoplazmatski retikulum), T tubula i plazme rezultirajući rastom mišića bez istodobnog povećanja snage. Na taj način nastaje tzv. *nefunkcionalan mišić*. Sarkoplazmatska hipertrofija uobičajena je pojava kod bodybuildera u cilju povećanja mišićne mase, gdje se mišićna vlakna prilagođavaju treninzima visokog intenziteta povećavajući broj mitohondrija pa dolazi do smanjenja gustoće filamenata i povećanja površine mišićnog vlakna (2).



Slika 4. Prikaz serijske i paralelne hipertrofije

Preuzeto sa: Schoenfeld B. Science and development of muscle hypertrophy. Human Kinetics 2016. *Hypertrophy-Related Responses and Adaptations to Exercise stress*, str.10.



Slika 12 . Miofibrilarna i sarkoplazmatska hipertrofija

Preuzeto sa:

<https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.FxTdhior5U6m5JcAOcuT3gHaDO&pid=Api&P=0&w=365&h=160>

Redovitim treniranjem obje vrste hipertrofije bit će zastupljene no ne u jednakoj mjeri. Obično je kod treninga s otporom najčešća miofibrilarna hipertrofija no kada govorimo o bodybuilderima u odnosu na powerliftere nailazimo na razlike. Njihov je režim treninga različit ali obje skupine postižu značajan rast mišića. Primjerice bodybuilderi treniraju s umjerenim opterećenjem sa kratkim intervalima odmora dok powerlifteri treniraju s velikim opterećenjem i dužim intervalima odmora. Sukladno tome, kod bodybuildera se obično događa sarkoplazmatska hipertrofija stoga način vježbanja može biti specifičan za vrstu hipertrofije (13).

Neki istraživači iznijeli su mogućnost da se izgradnja mišića i povećanje površine presjeka može dogoditi hiperplazijom, odnosno povećanjem broja mišićnih vlakana. Dokazano je da se hiperplazija javlja u eksperimentalnim uvjetima kod određenih životinjskih vrsta zbog mehaničkog preopterećenja. Daljnja istraživanja ipak prikazuju da nedostaju dokazi da se hiperplazija (u normalnim okolnostima) javlja kod ljudi (2).

4. MEHANIZMI HIPERTROFIJE

Postoje tri čimbenika odgovorna za pokretanje rasta mišića.

- Mehanička napetost
- Oštećenje mišića
- Metabolički stres

Unatoč činjenici da modificiranjem varijabli treninga s otporom poput opterećenja, broja setova, intervala odmora i dr. postizemo napredak i hipertrofične prilagodbe mišića; signali odnosno podražaji su zapravo osnovni pokretači razvoja hipertrofije.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da je mehanička napetost najvažniji mehanizam za razvoj hipertrofije dok su mišićno oštećenje i metabolički stres uključeni u taj proces (13).

4.1. Mehanička napetost

Napetost u mišiću uzrokovana je izlaganjem mišića opterećenju tijekom određenog vremena i ključan je poticaj za mišićnu hipertrofiju. Prilikom izvođenja vježbi s otporom dolazi do stvaranja napetosti (sile) unutar mišića što uzrokuje stanične odgovore u miofibrilima i satelitskim stanicama. Mišići sadrže osjetne stanice- mehanoreceptore, osjetljive na vrstu sile pod kojom se mišić nalazi te koliko dugo se napetost održava. Kada ti receptori prepoznaju napetost, pokreće se kaskada kemijskih reakcija koje u konačnici uzrokuju rast mišića (13).

4.1.1. Satelitske stanice

Satelitske stanice čine osnovu mišićnih stanica. One olakšavaju rast, održavanje i popravak ozlijeđenog mišićnog tkiva, a nalaze se na vanjskoj površini mišićnog vlakna između sarkoleme i bazalne lamine (3). Njihova je aktivacija potaknuta traumom ili oštećenjem mišićnog vlakna npr. prilikom preopterećenja tijekom treninga s otporom (1).



Slika 13. Prikaz smještaja satelitskih stanica

Preuzeto

sa:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c3/1318b_DRG.jpg/1200px-1318b_DRG.jpg

Hipertrofiju mišića omogućavaju brojni signalni putevi uključujući *mammalian target of rapamycin* (mTOR), mitogenom aktivirane protein kinaze (MAPK) te putevi ovisni u kalciju.

Mammalian target of rapamycin (mTOR) navodi se kao ključni faktor u rastu mišića. Predstavlja serin- treonin kinazu te čini glavnu mrežu koja regulira rast skeletnih mišića (15).

Osim toga važno je i vrijeme tijekom kojeg mišić održava napetost. Vježbajući s otporom sporim tempom, mišić ostaje dulje pod napetošću te se vjeruje da dulje vrijeme u stanju napetosti, do određene točke, pruža veći poticaj za rast mišića (13).

Istraživanja pokazuju da ekscentrična kontrakcija stimulira mehanoreceptore u većoj mjeri u odnosu na koncentričnu i izometričku kontrakciju. Pasivna napetost tijekom koje se mišić isteže ne dopuštajući njegovu kontrakciju, najmanje stimulira mehanoreceptore (13).

4.2. Oštećenje mišića

Prilikom treninga s otporom dolazi do lokaliziranog oštećenja mišićnog tkiva, za koje se vjeruje da pod određenim uvjetima dovodi do hipertrofije (2). Najčešće nastaje prilikom izvođenja novih vrsta vježbi, posebno ekscentričnim kontrakcijama u velikom rasponu pokreta (16). Taj se fenomen naziva *treningom uvjetovano mišićno oštećenje* (13).

Kontrakcijom mišića odnosno sarkomera može doći do oštećenja miofibrilarnih elemenata što pokreće upalni proces.

Odgovor na mikrotraumu može se usporediti s akutnim upalnim odgovorom na infekciju. Kad tijelo opazi oštećenje, neutrofilni migriraju na mjesto ozljede; oštećena vlakna privlače limfocite i makrofage. Makrofagi uklanjaju stanične ostatke i pomažu u održavanju strukture vlakana i proizvodnji citokina koji potiču oporavak tkiva. Ovo mišićno oštećenje pobuđuje satelitske stanice koje se zatim spajaju s ostalim mišićnim stanicama i doniraju svoje jezgre što rezultira povećanjem broja jezgri, povećanjem količine DNA i transkripcijske aktivnosti te se proizvodi više aminokiselina i proteina. Veličina mišića u korelaciji je s većim brojem jezgri (2). Ozbiljnost mišićnog oštećenja ovisi o vrsti, intenzitetu i ukupnom trajanju treninga (13).

Utjecaj mišićnog oštećenja na rast mišića za sada je još nejasan te postoji mnogo neslaganja između autora i istraživača s obzirom na to da je teško izdvojiti učinak treningom uvjetovano mišićno oštećenje od učinka ostalih čimbenika. Međutim važno je naglasiti da preveliki stupanj mišićnog oštećenja narušava sposobnost stvaranja sile u mišiću te u konačnici negativno utječe na treniranje i oporavak (16).

4.3. Metabolički stres

Metabolički stres je fiziološki proces koji se javlja tijekom intenzivnog vježbanja kao odgovor na nisku razinu energije što dovodi do nakupljanja metabolita; laktata, fosfata (Pi) i vodikovih iona (H⁺) u mišićnim stanicama (17). Izlaganjem mišića napetosti tijekom duljeg vremena, stvara se više metaboličkog stresa.

Za kontrakciju mišića tijelu je potrebna energija u obliku ATP-a; u mišićima je pohranjeno vrlo malo zaliha ATP-a i tijelo ga koristi u prvih nekoliko sekundi kontrakcije pa je potrebno proizvesti novu energiju odnosno još ATP-a, a to se postiže pomoću fosfokreatina. To je zapravo izvor energije za mišićnu kontrakciju prirodno prisutan u skeletnim mišićima te omogućuje eksplozivnu snagu u trajanju do 12 sekundi. Fosfokreatin donira fosfat ADP-u kako bi nastao ATP a to stanje traje vrlo kratko (do 3 sek) stoga je pogodno kod izvođenja malih broja ponavljanja u setu. Kada se izvodi umjereni broj ponavljanja (6-12) tijelo počinje koristiti glukozu za proizvodnju energije. U tom slučaju, za proizvodnju dodatnog ATP-a dostupan je kisik te se u proizvodnji energije oslobađa laktat. Laktat je izravno povezan s hipertrofijom mišića; ima sposobnost povlačenja vode te uzrokuje bubrenje mišićnih stanica što vrši pritisak na sarkolemu. Nadalje ovim postupkom stimulira se transport aminokiselina i sinteza proteina (18).

Promjene u rutini vježbanja kao što su intenzitet, volumen i odmor između setova, određuju veličinu metaboličkog stresa. S druge strane, različitim vrstama treninga poput treninga otpora niskog intenziteta uz ograničenje protoka krvi i intervalnog treninga visokog intenziteta, može se utjecati na maksimiziranje metaboličkog stresa tijekom vježbanja (17).

4.3.1. Metabolički stres pri većim opterećenjima u odnosu na manja opterećenja

Vježbanje s većim opterećenjima dovodi do trošenja više ATP-a u sekundi te brže promjene koncentracije fosfokreatina i laktata. Tijekom treninga visokog intenziteta s otporom, koncentracija fosfokreatina pasti će više u sekundi nego tijekom vježbanja s niskim opterećenjem. S obzirom da metabolički stres uzrokuje umor mišića, metabolički će stres biti veći na kraju serije s manjim opterećenjima; razlog tome je da možemo podići manje opterećenje s umornijim mišićem nego tijekom seta s velikim opterećenjima, kao što možemo podići veliko opterećenje samo ako su umor i metabolički stres niski (18).

Istraživanje koje su proveli Gonzalez i sur. 2015. godine, pokazalo je da treniranje s otporom s umjerenim ponavljanjima uz kratke intervale odmora (70% 1RM, 10-12 ponavljanja, interval odmora od 1 min) uzrokuje veći porast laktata u krvi, hormona rasta i kortizola u odnosu na vježbanje s većim opterećenjima i nižim ponavljanjima uz duže intervale odmora (90% 1RM,

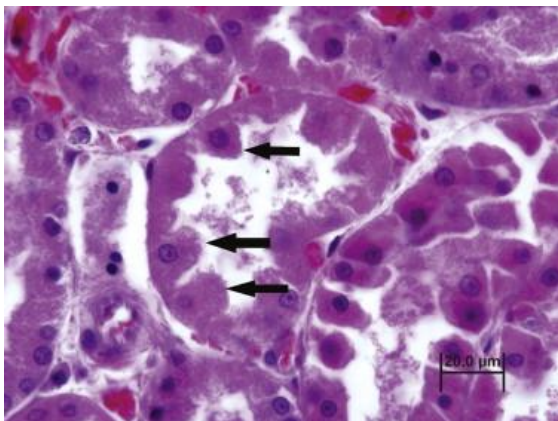
3-5 ponavljanja, interval odmora 3-5 min). Setovi vježbi s malim intervalom odmora (kraći od 1 min) od iznimne su važnosti za povećanje proizvodnje laktata i hormona rasta u krvi; najviše zbog nedovoljnog oporavka akumulacije PCr i H^+ (19).

4.3.2. *Bubrenje stanica*

Stanična hidratacija odnosno bubrenje stanica služi fiziološkom reguliranju stanične funkcije. Dokazano je da simulira anaboličke procese povećanjem sinteze proteina i smanjenjem njegove razgradnje (2).

Trening s otporom izaziva promjene unutar i u izvanstaničnoj ravnoteži vode, ovisno o vrsti i intenzitetu treninga. Tijekom intenzivnih mišićnih kontrakcija, dolazi do začepjenja vena dok arterijski sustav održava protok krvi aktivnim; tim procesom može se povećati oticanje unutar stanice te se povećava pritisak na citoskelet i staničnu membranu što predstavlja prijetnju staničnom integritetu. Stanica zatim pokreće anabolički signalni odgovor kako bi ojačala svoju unutarnju strukturu.

Istraživanja su pokazala da se bubrenje stanica događa tijekom nakupljanja metabolita (laktata, H^+ i P_i) što stvara dodatnu unutarstaničnu tekućinu (17). Također određeni režimi vježbanja koji povećavaju kapacitet skladištenja glikogena mogu utjecati na bubrenje stanica; s obzirom na to da svaki gram glikogena na sebe privlači tri grama vode (16).



Slika 14. Prikaz bubrenja stanica

Preuzeto sa: <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9780123704696000027-gr3.jpg?>

5. ČIMBENICI TRENINGA S OTPOROM U ODNOSU NA HIPERTROFIJU

Svaki program treninga s otporom sastoji se od posebno dizajniranih čimbenika koji uključuju volumen, frekvenciju, opterećenje, odabir vježbe, vrstu aktivacije mišića, duljinu intervala odmora, trajanje ponavljanja, redoslijed vježbanja, opseg pokreta i intenzitet napora. Modificiranjem ovih čimbenika stimulira se mišićno-živčani sustav u svrhu postizanja što boljih rezultata (13).

5.1. *Volumen*

Volumen treninga otpora predstavlja količinu ukupnog rada tijekom jednog treninga; može se izraziti kao umnožak ponavljanja, broja setova i intenziteta opterećenja. Prilagođavanjem bilo koje od ovih varijabli može se povećati volumen treninga; npr. izvođenje dodatnih setova, dodavanjem više ponavljanja ili povećanjem opterećenja (20). Veći volumen pruža veći intenzitet treninga i povećava stimulativni utjecaj na mišićna vlakna i njihovu adaptaciju.

Volumen se može mjeriti na više načina, a najčešće su to: ukupan broj setova do otkaza, ukupan broj ponavljanja (setovi x ponavljanja) i količina opterećenja (setovi x ponavljanja x opterećenje) (20).

Istraživanje koje su proveli Brad Schoenfeld i suradnici 2019. godine u trajanju od 8 tjedana, sastojalo se od 34 zdrava muškarca prosječne dobi 24 godine, koji su trenirali s otporom, nasumično podijeljeni u tri skupine; mali volumen (1 set po vježbi), umjereni volumen (3 seta po vježbi) i veliki volumen (5 setova po vježbi). Ispitanici su vježbali tri dana u tjednu, a za mjerenje hipertrofije koristila se debljina mišića uz pomoć ultrazvuka. Rezultati su pokazali da svi programi vježbi s otporom (mali, umjereni i veliki volumen) utječu na prilagodbu veličine mišića. Unatoč tome, trening s velikim volumenom pokazao se najsnažnijim poticajem za razvoj hipertrofije (21).

S biološkog spektra gledanja, volumen je broj stimulativnih ponavljanja koja se izvode za svaku mišićnu skupinu u setu. Stimulativno ponavljanje uključuje aktiviranje motornih jedinica visokog praga podražaja (i aktivaciju njihovih povezanih mišićnih vlakana) te polagano skraćivanje brzine. Aktiviranje motornih jedinica visokog praga podražaja važno je zbog toga što kontroliraju većinu mišićnih vlakana te zbog toga što sporo kontrahirajuća vlakna

(kontrolirana od strane motornih jedinica niskog praga podražaja) ne reagiraju u velikoj mjeri na stimulus vježbanja i obično ne rastu nakon treninga (20).

Aktivirana mišićna vlakna moramo izložiti visokim razinama mehaničkog opterećenja, a to se postiže odnosom sile i brzine. Sporim skraćivanjem mišićnih vlakana proizvodi se velika sila pa doživljavaju visoku razinu mehaničkog opterećenja. S druge strane, kada se vlakna brzo skraćuju, npr. kod vrlo brzih pokreta, proizvodi se mala sila i malo mehaničkog opterećenja. Također u tom slučaju vlakna su vrlo kratko u stanju metaboličkog stresa. Stoga eksplozivno dizanje lakših tereta uključuje maksimalno aktiviranje motornih jedinica ali ne utječe na rast mišića. Mehaničko opterećenje, odnosno podignuta težina, smatra se ključnim mehanizmom koji aktivira hipertrofiju mišića (13).

Meta-analizom iz 2017. godine, koja obuhvaća 15 istraživanja odnosa velikog ili malog volumena treninga s otporom, Schoenfeld i suradnici utvrdili su značajno veće povećanje hipertrofičnog odgovora korištenjem velikog volumena treninga. Dio ispitanika trenirao je <5 serija tjedno, druga skupina trenirala je 5 do 9 serija tjedno dok su preostali ispitanici trenirali više od 10 serija tjedno. Rezultati su pokazali korelaciju između većeg volumena i povećanja mišićne mase, a izraženi su u postocima; za prvu skupinu iznosili su 5,4%, za drugu 6,6% te za treću 9,8% povećanja mišićne mase (22).

Unatoč činjenici da je volumen treninga primarni pokretač izgradnje mišića, izostaju podaci koji bi utvrdili granicu iznad koje dodatno povećanje volumena ne donosi hipertrofične dobitke. Tjelesni sustavi, uključujući metabolički, živčani, hormonalni i mišićni sustav, iznimno su osjetljivi na promjene u količini volumena te njihovo pretjerano naprezanje može imati negativne posljedice na rezultate. Važno je naglasiti da je prag za količinu volumena korištenom u treningu, individualan te ovisi o genetici i životnom stilu osobe, nutritivnom statusu, stresu, načinu spavanja (13).

5.2. Frekvencija

Frekvencija odnosno učestalost odnosi se na broj treninga s otporom izvedenih u određenom vremenu ili broj treninga određene mišićne skupine u određenom vremenskom razdoblju (23). Moduliranjem frekvencije treninga može se izravno utjecati na volumen vježbanja (13).

Opće smjernice treninga hipertrofije preporučuju da se svaka mišićna skupina trenira 2-3 dana u tjednu, uz najmanje 48 sati između ponovnog treniranja iste mišićne skupine (24).

Pretpostavlja se da trening prije potpunog završetka sinteze proteina (koja traje ~48 sati) narušava prirast proteina u mišićima, stoga je potreban odgovarajući odmor kako bi se postigao oporavak i prilagodba mišića (13).

Meta-analiza provedena 2019. godine uspoređivala je višu i nižu frekvenciju treninga s otporom. S jednakim volumenom u oba slučaja, rezultati su pokazali slične hipertrofične dobitke neovisno o tome jesu li se mišićne skupine trenirale 1,2,3 ili više od 4 puta tjedno. Suprotno tome, prilikom korištenja različitog volumena treninga, rezultati su bili na strani više frekvencije što upućuje na to da frekvencija kao zasebna varijabla nema značajan utjecaj na izgradnju mišića već je njezina primarna uloga u upravljanju tjednog volumena treninga (25).

Istraživanja pokazuju vrlo dobre neuromuskularne prilagodbe, poboljšanje snage i dobitak na mišićnoj masi prilikom izvođenja treninga s većim volumenom ali manjom frekvencijom vježbanja. Kada je riječ o hipertrofiji, izvođenjem više vježbi za određenu mišićnu skupinu u jednom treningu, osigurava se održavanje ukupnog tjednog volumena treninga ili njegovo povećanje te veći oporavak između treninga (24). Također izvođenje više vježbi za jednu mišićnu skupinu u istom treningu povećava metabolički stres što je pozitivan učinak za hipertrofiju.

Istraživači sugeriraju da je kod treniranih pojedinaca, vježbanje jedne mišićne skupine dva puta tjedno, optimalno za odraslu populaciju kako bi došlo do hipertrofičnog odgovora (24).

5.3. Opterećenje

Intenzitet opterećenja odnosno težina utega koja se podiže, smatra se jednim od najvažnijih čimbenika hipertrofičnog odgovora kod treninga otpora. Intenzitet opterećenja odnosi se na postotak od 1RM u zadanoj vježbi. Uzevši u obzir da je 1RM maksimalna podignuta težina, ako osoba maksimalno može podignuti 45,5 kg u određenoj vježbi, a izvodi set s 36,4 kg, tada je intenzitet opterećenja izražen kao 80% 1RM. Intenzitet opterećenja može se kategorizirati u zone opterećenja koje odgovaraju rasponima ponavljanja; teški (1RM-5RM¹), srednji (6RM-12RM) i lagani (15+ RM) (13).

¹ 5RM odnosi se na opterećenje koje se može svladati maksimalno 5 puta; ako je 1RM maksimalno opterećenje koje se može podignuti samo jedanput tada je 5RM nešto lakše opterećenje koje se može podignuti 5 puta.

Istraživači tvrde da se korištenjem srednjeg raspona ponavljanja postiže maksimalna hipertrofija (13). Vjeruje se da veliko opterećenje potiče neuronske prilagodbe i da ima manje učinke na hipertrofiju.

Veliki intenzitet opterećenja (>85% 1RM) dovodi do visoke razine mehaničke napetosti u mišićima; no trajanje seta s velikim težinama je kratko (<15 sekundi) stoga se energija tijekom takvog treninga prvenstveno dobiva iz ATP-PC sustava; odnosno kao što je ranije spomenuto energija se dobiva iz fosfokreatina, a mali je doprinos brze glikolize. U takvom je treningu slabo nakupljanje metabolita; periferni umor izazvan metaboličkim stresom značajno je smanjen tijekom treninga s malim brojem ponavljanja (5 ponavljanja u setu) u usporedbi s treningom s srednjim rasponom ponavljanja (10 ponavljanja u setu) (13).

Trening s laganim opterećenjem dovodi do velikog metaboličkog stresa. Serije se sastoje od više od 15 ponavljanja te obično traju 45 sekundi i više, što zahtjeva veću proizvodnje energije iz brzog glikolitičkog sustava, a rezultat je značajno nakupljanje metabolita i acidoza. Unatoč tome pokazalo se da sile koje se stvaraju tijekom dizanja lakih tereta nisu dovoljne za uključivanje motornih jedinica visokog praga podražaja te je hipertrofija smanjena (26).

Prema tome, vježbanje u rasponu srednjih ponavljanja, pruža optimalnu kombinaciju mehaničke napetosti i metaboličkog stresa za postizanje maksimalnih hipertrofičnih dobitaka. Tijekom takvog treninga opterećenje je dovoljno za uključivanje većine vlakana u ciljanoj mišićnoj skupini te za održavanje stimulacije tijekom cijelog razdoblja treniranja. Setovi obično traju između 20 i 40 sekundi što zahtjeva značajan doprinos brze glikolize i stvara velike razine metaboličkog stresa. Zbog toga se srednje opterećenje naziva rasponom hipertrofije (27).

Tesch i suradnici istraživali su opterećenje u treningu s otporom te su koristili analizu iskorištavanja glikogena kako bi procijenili uključivanje motornih jedinica tijekom vježbi ekstenzije koljena pri opterećenjima od 30%, 45% i 60% od 1RM. Ishod istraživanja pokazao je da se vlakna tipa IIa počinju uključivati na 30% od 1RM, a polovina tih vlakana pokazuje gubitak glikogena pri opterećenjima od 50% od 1RM. Nedostatak ovog istraživanja je da se setovi nisu izvodili do mišićnog neuspjeha (28).

Novije istraživanje, koje su proveli Morton i suradnici, prikazuje sličnu potrošnju glikogena u vlaknima tipa I i II tijekom izvođenja vježbi s velikim opterećenjem (80% od 1RM) u odnosu s laganim (30% od 1RM) što upućuje na to da količina opterećenja ne određuje prag uključivanja motornih jedinica ako se vježbe izvode do mišićnog neuspjeha (29).

Nalazi ovih dvaju istraživanja međusobno se sukobljavaju no sugeriraju da je korištenje laganih opterećenja dovoljno za uključivanje većine vlakana iz motornih jedinica pod uvjetom da se vježbe izvode s velikim naporom (13).

Za postizanje uspješnog hipertrofičnog procesa i izgradnje mišića, potrebno je kombinirati teški i lagani intenzitet opterećenja. Veliko opterećenje poboljšat će snagu što omogućuje upotrebu većih tereta tijekom vježbanja u rasponu srednjih ponavljanja; s druge strane lagano opterećenje osigurat će optimalan razvoj vlakana tipa I i poboljšati kapacitet mišića tako da se mogu izvoditi dodatna ponavljanja pri zadanom srednjem intenzitetu opterećenja (13).

Kada govorimo o maksimalnoj hipertrofiji, važan je pojam progresivnog preopterećenja što znači da je potrebno povećavati opterećenje tijekom vremena. Mišići imaju sposobnost prilagodbe odnosno nakon nekog vremenskog perioda treniranja s određenim opterećenjem neće doći do njihovog daljnjeg rasta stoga je potrebno stalno podraživati mišićna vlakna uvođenjem većih opterećenja ili povećanjem broja setova i ponavljanja kako bi se postigli maksimalni rezultati (13).

5.4. Odabir vježbe

Regionalne razlike unutar mišića mogu utjecati na njihov odgovor na odabir vježbe. Primjerice, motorne jedinice brzog i sporog praga podražaja često su raspršene po mišiću pa se sporo kontrahirajuće vlakno može aktivirati dok je brzo kontrahirajuće neaktivno. Mišići se dijele na živčano-mišićne komponente na različitim područjima mišića od kojih je svaka inervirana vlastitom živčanom granom sugerirajući da se dijelovi mišića mogu aktivirati ovisno o vrsti aktivnosti (2).

Arhitektonske varijacije unutar mišića podupiru potrebu usvajanja multiplanarnog, višekutnog pristupa treningu hipertrofije kroz razne vježbe. Kako bi se stimulirala sva vlakna unutar mišića i maksimizirao hipertrofični odgovor važna je česta rotacija vježbi (13).

Dokazi pokazuju da su višezglobne (kompleksne) i jednozglobne (izolacijske) vježbe važne sastavnice rutine treninga specifičnog za izgradnju mišića. Višezglobne vježbe (npr. iskoraci, čučnjevi, trbušnjaci, mrtvo dizanje, leg press, itd.) uključuju veliku količinu mišićne mase za izvođenje zadatka te utječe na anabolički hormonalni odgovor na trening. Pokazalo se da višezglobni pokreti proizvode veće količine testosterona i hormona rasta u usporedbi s jednozglobnim vježbama (30). Pokreti koji uključuju više zglobova, zahtijevaju značajnu

stabilizaciju cijelog tijela, što uključuje brojne mišiće koji inače ne bi bili stimulirani tijekom jednozglobnih pokreta. Primjerice u vježbi čučnja, uz m. quadriceps femoris i ekstenzore kuka, uključeni su i aduktori i abduktori kuka te m. triceps surae. Uz to važna je i izometrička aktivnost potpornih mišića (trbušni mišići, m. trapezius, mm. rhomboidei te m. erector spinae) kako bi se održala posturalna stabilizacija trupa (13).

Izolacijske (jednozglobne) vježbe pružaju veći fokus na pojedine mišiće; tijekom višezglobnih pokreta, određeni mišići mogu imati prednost nad drugima stvarajući hipertrofičnu neravnotežu; koristeći izolacijske vježbe može se izravno djelovati na nerazvijene mišiće i poboljšati mišićna simetrija. Ujedno se postižu različiti oblici neuromuskularne aktivacije i poboljšava cjelokupni mišićni razvoj (31).

Istraživanje koje su proveli Fonesca i kolege 2014. godine, usredotočilo se na usporedbu mišićnih prilagodbi nakon izvođenja vježbi samo na Smith mašini, a zatim kombinacije različitih vježbi čučnja na Smith mašini, iskoraka, leg pressa te mrtvog dizanja. Rezultati su pokazali važnost odabira varijacija vježbi te je trening s raznolikim vježbama doveo do ujednačenije hipertrofije svih mišića kvadricepsa. Štoviše, korištenje samo Smith stroja nije uspjelo značajno povećati površinu presjeka m. vastusa medialis i rectusa femoris (32).

Važno je naglasiti da prečeste varijacije vježbi u početnoj fazi treniranja mogu negativno utjecati na hipertrofični odgovor; odnosno iziskuju trošenje previše vremena na učenje motoričke sposobnosti s neoptimalnim opterećenjima stoga bi u ovoj fazi broj vježbi u programu trebao biti ograničen kako bi se živčani obrasci uvrstili u podsvijest (13).

5.5. Vrsta mišićne aktivacije

Skeletni mišići kontrahiraju se skraćivanjem ili produljivanjem odnosno koncentričnom ili ekscentričnom kontrakcijom te statičkom ili izometričkom kontrakcijom. Tijekom koncentrične kontrakcije mišić se skraćuje i stvara silu koja se prenosi s tetive na zglob, omogućavajući pojavu pokreta i promjenu kuta zgloba. Ekscentrične kontrakcije odgovorne su za rasipanje mehaničke energije tijekom usporavanja tijela; npr. spuštanje stepenicama/hodanje nizbrdo u kojem mišići kvadricepsa i plantarnih fleksora proizvode silu tijekom svog produljenja te se aktiviraju protiv kretanja prema dolje i zadržavaju ravnotežu. Druga funkcija ekscentričnih kontrakcija je pretvaranje kinetičke energije u elastičnu energiju tetiva; rezultirajući manjim radom mišića i energijom potrebnom za kretanje (33).

Ekscentrične i koncentrične kontrakcije međusobno se razlikuju s mehaničkog i metaboličkog gledišta te u smislu neuralne kontrole (33).

Snaga ekscentrične kontrakcije 20 do 50% veća je od koncentrične te omogućuje veće opterećenje tijekom treninga. Sile proizvedene tijekom ekscentričnog treninga 45% su veće od sila tijekom koncentričnog treninga i dvostruko veće od izometričkih kontrakcija (13).

Prednosti ekscentričnih vježbi u smislu hipertrofije povezuju se i s oštećenjem mišića; iako koncentrična i izometrička kontrakcija mogu izazvati mišićno oštećenje, opseg oštećenja povećava se tijekom ekscentričnih kontrakcija. To se događa zbog veće sile na manje aktivna vlakna koja su pri opiranju produljenju sklona kidanju (34). Unatoč tome važnost oštećenja mišića u ekscentričnim hipertrofičnim prilagodbama još je spekulativna (13).

Moore i suradnici, u istraživanju iz 2005. godine, dokazali su brži porast miofibrilarne proteinske sinteze u mišiću nakon 6 serija od 10 ponavljanja maksimalnih ekscentričnih ponavljanja u odnosu na koncentričnu ekstenziju koljena (35). U usporedbi s ostalim nalazima, vjeruje se da unatoč sličnoj sintezi proteina tijekom submaksimalnog vježbanja, maksimalne ekscentrične kontrakcije pojačavaju nakupljanje proteina u mišiću. Ekscentričnim treningom dolazi i do znatno većeg povećanja duljine fascikula u odnosu na koncentrični. Također načini kontrakcije pokazuju specifične učinke hipertrofije ovisno o regiji tijela; ekscentrična djelovanja pokazuju preferencijalni rast u distalnom dijelu vastus lateralis, a koncentrična djelovanja ciljaju srednji dio mišića (13). Nagađa se da je to zbog regionalnih mišićnih oštećenja duž vlakana koja posljedično dovode do nejednakih promjena u aktivaciji mišića (13).

I koncentrične i ekscentrične kontrakcije trebale bi biti uključene u programe treninga jer se obje radnje međusobno dopunjuju u smislu hipertrofičnih dobitaka (33).

Statička kontrakcija tijekom koje mišić aktivno zadržava svoj položaj navodi se kao manje efektivan način za postizanje mišićne mase no može značajno pridonijeti poboljšanju mišićne snage i izdržljivosti (13).

Kao što je već poznato, prilikom mišićne kontrakcije najprije se uključuju najmanje motorne jedinice, zatim one veće jer je potrebna sve veća mišićna sila, a njihovo je isključivanje obrnutim redoslijedom (prvo najveće, zatim sve manje). Posljedica toga je smanjenje snage kada se maksimalna izometrička kontrakcija pokušava zadržati dulje od 10 sekundi. Kada je riječ o poticanju hipertrofije, važno je stvoriti podnošljivu razinu zamora u mišićima, a jedan od najboljih načina je kombinacija izometričkih i izotoničkih mišićnih kontrakcija (33).

5.6. Duljina intervala odmora

Vrijeme odmora između setova vježbi naziva se interval odmora, a dijeli se u tri kategorije: kratki (30 sekundi ili manje), umjereni (60 do 90 sekundi) i dugi (3 minute ili više) (13). Duljina intervala odmora različito utječe na akutni odgovor na trening otpora, a ti odgovori značajno utječu na hipertrofične kronične prilagodbe (36).

Istraživanja pokazuju da kratki intervali odmora značajno povećavaju nakupljanje metabolita, odnosno stvaraju veliki metabolički stres. Unatoč tome, intervali odmora od 30 sekundi ne pružaju sportašu dovoljno vremena za vraćanje snage što izrazito smanjuje mišićnu izvedbu u sljedećim serijama (3,13). Ratamess i suradnici zaključili su da kratki intervali odmora smanjuju volumen treninga za više od 50% tijekom 5 serija pri 10RM uz smanjenje opterećenja u svakoj sljedećoj seriji (37). Kratki intervali odmora u konačnici se smatraju neoptimalnim za postizanje maksimalnih hipertrofičnih dobitaka zbog smanjene mehaničke napetosti i kapaciteta snage (13).

S druge strane, dugi intervali odmora pružaju potpuno vraćanje snage između setova, trajno održavaju mehaničku napetost, a time omogućavaju sposobnost treniranja s maksimalnim kapacitetom u svakom sljedećem setu. Međutim, nakupljanje metabolita je smanjeno, a mehanički stres ugrožen; rezultat čega je smanjen hipertrofični odgovor (3,13).

Istraživanja ukazuju da umjeren interval odmora ostvaruje idealnu ravnotežu između metaboličkog stresa i mehaničke napetosti. Trening usmjeren na hipertrofiju, s odmorom od 90 sekundi između setova, pokazuje znatno veći porast laktata u krvi i smanjenje pH vrijednosti u usporedbi s treningom snage s 5 minuta odmora između setova. Interval odmora od 60 sekundi zahtjeva smanjenje opterećenja za 5-10% u svakom sljedećem setu kako bi se omogućilo održavanje opterećenja od 8RM do 12RM. Prema tome, stvarajući povoljan metabolički odgovor uz minimalno narušavanje mehaničkih sila, umjereni interval odmora optimalan je za postizanje maksimalnih hipertrofičnih odgovora (36).

Unatoč ovim pretpostavkama, postoje suprotna razmišljanja istraživača o učinku intervala odmora na rast mišića tijekom vremena. Primjerice starije istraživanje koje su proveli Ahtiainen i suradnici, nije pokazalo razliku u izgradnji mišića kvadricepsa koristeći interval odmora od dvije u odnosu na pet minuta (38). Fink i kolege, u istraživanju iz 2017. godine, zamijetili su vrlo slične promjene m. tricepsa brachii uspoređujući interval odmora od 30 i 150 sekundi, trenirajući s laganim opterećenjima do otkaza; međutim uočen je i blago veći porast bedrenih mišića s dužim intervalom odmora između vježbi u odnosu na kratki (39). Moglo bi se zaključiti

da dulji intervali odmora (≥ 2 min) pružaju optimalan pristup u treningu usmjerenom na hipertrofiju jer pomažu očuvati volumen i opterećenje tijekom setova (13).

Važno je napomenuti da veće razine napora zahtijevaju dulji interval odmora kako bi se održalo volumensko opterećenje. Drugi faktor pri određivanju intervala odmora je odabir vježbe; višezglobne vježbe (posebno one koje uključuju korištenje otpora u obliku utega) uzrokuju veći umor te zahtijevaju intervale odmora od najmanje 2 minute, dok se kod izolacijskih vježbi može primijeniti kraće razdoblje odmora između setova (13).

5.7. Redoslijed vježbi

Trenutne smjernice treninga s otporom usmjerenim na hipertrofiju, propisuju redoslijed vježbanja velikih, a zatim malih mišićnih skupina te izvođenje kompleksnih vježbi na početku treninga, a izolacijskih na kraju. Pretpostavlja se da je izvedba kompleksnih vježbi oslabljena kada su manji sekundarni sinergisti izmoreni prethodnom izolacijskom vježbom (40).

Istraživanja pokazuju da je izvedba vježbi najugroženija u vježbama pred kraj sesije, bez obzira na veličinu trenirane mišićne skupine; no s obzirom na korištenje većih opterećenja tijekom kompleksnih vježbi, smanjenje volumena u takvim vježbama općenito je veće kada se izvode nakon vježbanja malih mišićnih skupina. Stoga je važno velike mišićne skupine trenirati na početku treninga, kako bi se najbolje očuvao volumen opterećenja (13).

Neki istraživači pokušali su izravno odrediti učinke redoslijeda vježbi na izgradnju mišića. Simao i kolege, 2012. godine uspoređivali su izvedbu vježbi gornjeg dijela tijela pri izvedbi velikih, a zatim malih mišićnih skupina te izvedbu malih pa velikih mišićnih skupina. Skupina ispitanika obuhvaćala je netrenirane muškarce, a vježbe koje su se izvodile obuhvaćale su bench press, fleksiju bicepsa, triceps ekstenzije te vježbe za m. latissimus dorsi. Nakon 12 tjedana i izvođenja treninga dva puta tjedno, uočeno je povećanje debljine mišića tricepsa samo u onoj skupini koja je na početku treninga izvodila male mišićne skupine (41). Moglo bi se zaključiti da mišići koji su se vježbali ranije u treningu, postižu veću hipertrofiju od onih treniranih na kraju treninga; stoga bi mišići koji zaostaju trebali biti prioritet na početku treninga (13).

5.8. *Opseg pokreta*

Opseg pokreta definira se kao stupanj pokreta koji se javlja na određenom zglobu tijekom izvođenja vježbe (42). Mišići imaju veći doprinos ovisno o kutu zgloba pri određenim vježbama. Primjerice mišići kvadricepsa različito se aktiviraju tijekom ekstenzije koljena; m. vastus lateralis maksimalno se aktivira tijekom prvih 60° opsega pokreta dok se m. vastus medialis, najviše aktivira u posljednjih 60° (13).

Postoje različita mišljenja o optimalnosti opsega pokreta za povećanje mišićne mase; neki autori tvrde da se vježbanjem kroz puni opseg pokreta postiže najveća stimulacija vlakana s njihovim maksimalnim skraćanjem i produljenjem, dok se drugi zalažu za djelomični opseg pokreta i korištenje teških opterećenja što dugoročno dovodi do većih hipertrofičnih dobitaka (42).

Dokazi upućuju da se najveća hipertrofična dobit postiže vježbama kroz puni opseg pokreta, međutim trening s djelomičnim opsegom pokreta omogućava primjenu većeg opterećenja tijekom treninga, što u konačnici može olakšati upotrebu većih težina tijekom punog opsega pokreta (42).

Prilikom istraživanja 2012. godine, Pinto i suradnici trenirali su fleksore lakta ispitanika kroz puni opseg (0° do 130° fleksije) i kroz djelomični opseg pokreta (50° do 100°), a rezultat je pokazao veće povećanje debljine mišića u usporedbi s treningom djelomičnog opsega pokreta (43).

Slično tome, u novijem istraživanju, Kubo i kolege istraživali su opseg pokreta tijekom čučnja kroz 8 tjedana te se pokazalo da je vježbanje s punim opsegom pokreta (0° do 140°) izazvalo značajno veći porast volumena aduktornih mišića i gluteusa maximusa u odnosu na djelomičan opseg pokreta (0° do 90°) (44). Razlika u volumenu m. quadricepsa nije zabilježena tijekom ovog istraživanja što upućuje na to da varijacije opsega pokreta pružaju specifičan odgovor mišića tijekom određenog zajedničkog pokreta; uzevši u obzir da neka istraživanja pokazuju sličan porast volumena mišića kvadricepsa korištenjem punog opsega pokreta (0° do 100°) ili djelomičnog (0° do 60°) tijekom izokinetičke ekstenzije na dinamometru (45).

McMahon i suradnici 2013. godine, proveli su istraživanje usmjereno na hipertrofiju kvadricepsa prilikom ekstenzije koljena u skraćenom položaju (0° do 50° fleksije) i istegnutom položaju (40° do 90°). Rezultati ukazuju na značajno veće povećanje presjeka distalnog kvadricepsa (53% naprema 18%) kod treninga istegnutog mišića u odnosu na skraćeni (46).

Može se zaključiti da trening s djelomičnim opsegom pokreta pruža jednaku učinkovitost kao i puni opseg pokreta ukoliko se djelomičan opseg pokreta izvodi na istegnutom mišiću (42).

5.9. *Intenzitet napora*

Napor uložen tijekom treninga s otporom zajedno s ostalim čimbenicima može utjecati na hipertrofiju mišića, a mjeri se blizinom mišićnog zatajenja, koja predstavlja točku tijekom treniranja u kojoj mišići više ne mogu proizvesti silu za koncentrično svladavanje otpora. Trening do neuspjeha može se objasniti kao maksimalno uključivanje motoričkih jedinica, što je ujedno preduvjet maksimalnog nakupljanja proteina u svim vrstama vlakana (2,13). Opseg aktivacije motorne jedinice ovisi o količini opterećenja; tijekom treninga s velikim opterećenjem, motorne jedinice visokog praga podražaja uključuju se gotovo odmah dok je kod treninga s manjim opterećenjem njihovo uključivanje odgođeno. Prema tome, važnost intenziteta napora povećava se smanjivanjem intenziteta opterećenja (13).

Trening do neuspjeha može dovesti do povećanja metaboličkog stresa, a time i utjecati na hipertrofični odgovor. Naime, treniranje u uvjetima anaerobne glikolize pojačava nakupljanje metabolita što u konačnici pojačava anabolički hormonski okoliš, a kontinuirana kompresija krvnih žila, potiče akutnu hipoksiju u mišićima što također pridonosi hipertrofiji (13).

Istraživanje iz 2017. godine koje su proveli Martorelli i kolege u skupini aktivnih žena, pokazalo je znatno veće povećanje debljine bicepsa nakon izvođenja bilateralnih vježbi fleksije podlaktice do mišićnog neuspjeha u usporedbi s skupinom koja nije izvodila vježbe do neuspjeha (47). Suprotno tome, godinu nakon, Nobrega i kolege izvijestili su o sličnom povećanju površine poprečnog presjeka kvadricepsa trenirajući s velikim (80% od 1RM) i malim opterećenjima (30% od 1RM) do neuspjeha ili do trenutka u kojem su ispitanici dobrovoljno odlučili stati (48).

U novijem istraživanju Carroll i suradnici ispitivali su treniranje do neuspjeha na dvije skupine uvježbanih muškaraca koji su izvodili trening cijelog tijela s otporom, a pri tom su koristili jednaki volumen opterećenja. Prva skupina setove je izvodila do mišićnog neuspjeha dok je druga trenirala u submaksimalnim postocima od 1RM pri čemu mišićni neuspjeh nije postignut. Nakon 10 tjedana, u skupini koja je trenirala u submaksimalnim opterećenjima od 1RM, uočeno je veće povećanje površine poprečnog presjeka m. vastusa lateralis te povećanje presjeka vlakana tipa I i II u odnosu na grupu koja je trenirala do neuspjeha. Pri tumačenju ovih rezultata treba napomenuti da je veći dio treninga proveden uz vrlo velik opterećenja ($\leq 5RM$) ograničavajući time više ponavljanja u setu (49).

Unatoč činjenici da pridonosi hipertrofičnim prilagodbama, treniranje do neuspjeha može dovesti do pojave pretreniranosti i psihološkog izgaranja. Stoga je važno pravilno doziranje broja treninga izvedenih do neuspjeha kako bi se osiguralo napredovanje tijekom vremena (13).

6. HORMONSKI ODGOVOR NA ČIMBENIKE TRENINGA S OTPOROM

Ravnoteža proteina u mišićima dijelom je regulirana neuroendokrinim sustavom. Hormoni mijenjanju dinamičku ravnotežu između anaboličkih i kataboličkih podražaja u mišićima te posreduju povećanju odnosno smanjenju nakupljanja proteina u mišićima. Endokrini hormoni stvaraju se u žlijezdama, prenose se krvlju, a zatim se u ciljanim tkivima vežu na receptore na sarkolemi ili u sarkoplazmi. Dokazi upućuju da bazalne koncentracije anaboličkih hormona utječu na rast i regenerativni kapacitet skeletnih mišića (13).

6.1. *Inzulinu sličan faktor rasta 1 (IGF-1)*

Homologni je peptid sa strukturnim sličnostima inzulinu, a provodi unutarstaničnu signalizaciju te potiče povećani rast tkiva. Dokazi upućuju da IGF-1 potiče sintezu proteina te inhibira njegovu razgradnju (13).

Smanjena razina IGF-1 u serumu povezana je s dobnom atrofijom, što sugerira da postoji minimalni prag za koncentraciju ovog hormona u cirkulaciji, ispod kojeg je ugrožena mišićna masa (50). Unatoč pozitivnim svojstvima, mjera uključenosti sustavnog IGF-1 u hipertrofiji, ostaje kontroverzna, a neki istraživači osporavaju njegovu primarnu ulogu u anaboličkom odgovoru na vježbanje (13).

6.2. *Hormon rasta*

Hormon rasta pripada skupini polipeptidnih hormona koje luči prednji dio hipofize. Najvećim dijelom oslobađa se tijekom vježbanja i spavanja. Sudjeluje u razgradnji lipida te u poticanju staničnog unosa i ugradnji aminokiselina u proteine (50). Vjeruje se da se utjecaj hormona rasta na mišićno tkivo, prvenstveno odvija njegovim učinkom na IGF-1; istraživanja provedena na

životinjama pokazuju značajno povećanje razine IGF-1 u cirkulaciji, nakon primjene hormona rasta. Ostaje nepoznato posreduje li hormon rasta hipertrofiji isključivo potenciranjem oslobađanja IGF-1 te su potrebna daljnja istraživanja (13).

Kod skeletnih mišića s nedostatkom funkcionalnih receptora za hormon rasta, uočeno je smanjenje veličine miofibrila. Također se vjeruje da hormon rasta uzrokuje sinergijski učinak na sintezu mišićnih proteina posredovanu testosteronom (13).

6.3. Testosteron

Testosteron je steroidni hormon čija se sinteza odvija u Leydigovim stanicama, dok se male količine stvaraju u nadbubrežnim žlijezdama i jajnicima (50).

Pokazalo se da primjena testosterona uvelike povećava mišićnu masu kod muškaraca i žena, bez obzira na dob, a s primjenom treninga otpora, ti se učinci povećavaju. Anaboličko djelovanje testosterona djelomično se pripisuje njegovoj izravnoj sposobnosti da poveća sintezu proteina i umanju njegovu razgradnju. Također, povišenje testosterona u kombinaciji s hormonom rasta, djeluje na povećanje IGF-1 (13).

Optimalni raspon ukupne razine testosterona u zdravih mladića, iznosi 264- 916 ng/dl. Unatoč istraživanjima koja dokazuju da hipogonadizam, odnosno standardno odstupanje razine testosterona 2 ispod srednje vrijednosti kod zdravih mladića, uzrokuje smanjenu sposobnost za izgradnju mišića, nije poznato utječu li fluktuacije testosterona u normalnom fiziološkom rasponu na hipertrofiju (13).

6.4. Inzulin

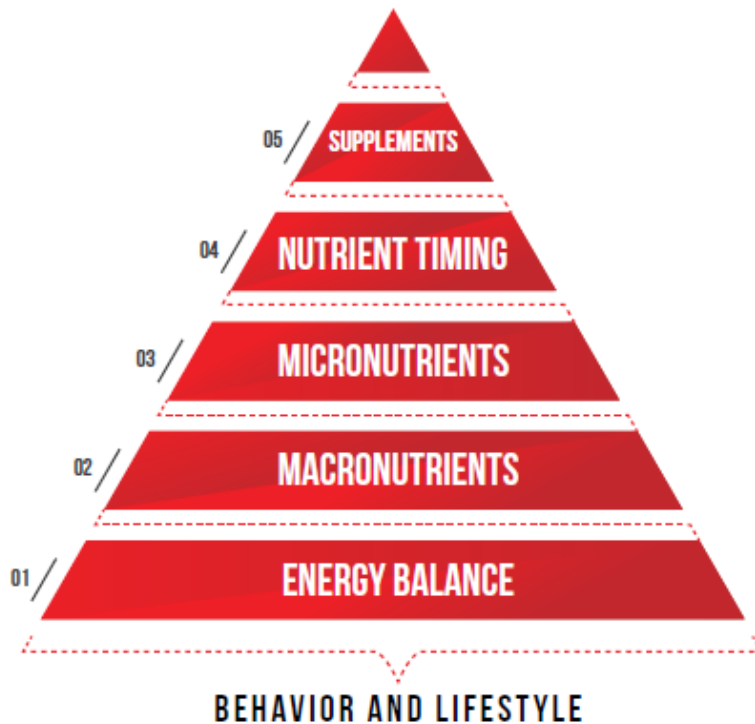
Inzulin je peptidni hormon kojeg luče beta stanice gušterače. Njegova je uloga u regulaciji metabolizma glukoze olakšavajući njezino skladištenje u mišićnom tkivu i jetri u obliku glikogena. Uz ostale sekundarne uloge, inzulin sudjeluje u stimulaciji translacije proteina. Inzulin također sudjeluje u aktivaciji mTOR-a koji ima presudnu ulogu u regulaciji rasta stanica i praćenju razine staničnih hranjivih tvari, kisika i energije (13).

Autori navode kako je primarna uloga inzulina u hipertrofičnim prilagodbama izazvanim vježbanjem, smanjenje razgradnje proteina što pojačava nakupljanje kontraktilnih proteina te olakšava veći rast mišića (50).

Važno je napomenuti da u zdravoj populaciji, vježbanje ima minimalan utjecaj na razinu inzulina, stoga je primarni mehanizam za upravljanje inzulinom, opskrba hranjivim tvarima (13).

7. PREHRANA ZA POSTIZANJE MIŠIĆNE HIPERTROFIJE

Kada govorimo o izgradnji mišića, pravilna prehrana izuzetno je važna za postizanje optimalnih rezultata.



Slika 7. Prikaz sastavnica prehrane potrebnih za izgradnju mišića u obliku piramide.

Preuzeto sa: Helms E. The Muscle and Strength Training Pyramid v2.0 Nutrition. 2018. *Introduction*, str. 23.

7.1. Energetska ravnoteža

Energetska ravnoteža predstavlja razliku između unosa i potrošnje energije, a uvelike utječe na sposobnost tijela za izgradnju mišića. Razlikujemo dva pojma koja se odnose na gubitak odnosno dobitak na tjelesnoj masi; a to su kalorijski deficit i suficit. Kalorijski deficit naziv je za proces veće potrošnje kalorija u odnosu na unos, a rezultat čega je gubitak tjelesne mase. Kada je tijelo u kalorijskom deficitu, energija potrebna za obavljanje fizičkih aktivnosti i osnovnih procesa unutar tijela, nadoknađuje se primarno iz masnih naslaga. S druge strane

kalorijski suficit je suprotan proces koji označava veći unos kalorija u odnosu na potrošnju. U konačnici, procjena unosa kalorija koja nas održava na trenutnoj tjelesnoj masi naziva se energijom održavanja (51).

Istraživanja pokazuju da restrikcija kalorija dovodi do smanjene sinteze mišićnih proteina. Pasiakos i kolege, kao rezultat svojeg istraživanja iz 2010. godine, izvijestili su o smanjenoj sintezi proteina od otprilike 19%, nakon 20% kalorijskog deficita u usporedbi s vrijednostima dobivenim tijekom energije održavanja (52). Smanjeni unos energije povećat će upotrebu proteina kao gorivo; iako je moguće graditi mišiće dok je tijelo u kalorijskom deficitu, opseg hipertrofije bit će manji od onog u kalorijskom suficitu.

Eukalorični uvjeti odnosno stanje energetske ravnoteže također nije optimalno za poticanje rasta mišića; tijekom razdoblja energetske ravnoteže, katabolizam proteina koji se javlja u tjelesnim tkivima i organima, dopunjava se putem izvedenih aminokiselina iz skeletnih mišića, a rezultat je otupljeni anabolički odgovor što u konačnici kompromitira hipertrofiju (13).

Stoga je potreban optimalan kalorijski suficit kako bismo omogućili hipertrofiju; pozitivna energetska ravnoteža snažan je stimulator anabolizma, čak i bez treninga s otporom, pod uvjetom da je unos proteina dovoljan (51).

Istraživanje koje potkrepljuje ove činjenice proveli su Garthe i suradnici 2013. godine: nasumični ispitanici u skupini profesionalnih sportaša, imali su plan prehrane koji je osiguravao suficit od 500 kcal na dan te su sudjelovali u programu treninga s otporom 4 puta tjedno u trajanju od 8 do 12 tjedana. Dobiveni rezultati pokazali su veći porast nemasne mase u skupini koja je imala kalorijski suficit u odnosu na skupinu koja je bila u energetskej ravnoteži (53).

7.2. Makronutrijenti

Uz energetskej ravnotežu, uvelike je važan unos makronutrijenata u obliku proteina, ugljikohidrata i masti.

7.2.1. Proteini

Anabolički učinci prehrane prvenstveno su pokrenuti prijenosom i ugradnjom aminokiselina iz proteina, u tjelesna tkiva, odnosno unos hrane koja sadrži bjelančevine, daje nam bjelančevine koje možemo iskoristiti. Trening s otporom povećava anabolički učinak unosa proteina, a time

i veličinu i trajanje odgovora. Nakon kratkog neaktivnog razdoblja, postižu se dramatična povećanja sinteze mišićnih proteina koji se mogu kretati između 45 - 150 minuta nakon treninga. Ta se povišenja održavaju do 4 sata kada se tijelo nalazi u postu. Unatoč povećanju sinteze proteina u mišićima izazvanom vježbama, ravnoteža proteina nakon treninga ostaje negativna u nedostatku potrošnje hranjivih sastojaka. To znači da je za izgradnju mišića neophodna odgovarajuća konzumacija esencijalnih aminokiselina (koja se može postići unosom cjelovitih izvora proteina) (51).

Za izgradnju mišića potrebna je pozitivna ravnoteža dušika, što znači da sinteza proteina dugoročno nadmašuje njegovu razgradnju. Važno je naglasiti da intenzivno vježbanje znatno povećava promet proteina, povećavajući potrebu za dodatnim izvorima. Preporuke za unos proteina uglavnom se temelje na gramima po kilogramu tjelesne težine. Istraživanja za dobivanje ovih smjernica, provedena su na muškarcima i ženama s otprilike 10-20% tjelesne masti, a dobivene su vrijednosti od 2,0 do 2,6 g / kg / dan za muškarce i 1,8 do 2,2 g / kg / dan za žene. Također, optimalan dnevni unos proteina ovisi i o stanju energetske ravnoteže i sastavu tijela (51).

Uz to, važan je unos kvalitetnih proteina; cjeloviti proteini sadrže potpuni niz esencijalnih aminokiselina potrebnih za održavanje mišićnog tkiva, dok necjeloviti imaju nizak udio jedne ili više esencijalne aminokiseline. Gotovo svi proteini životinjskog porijekla su cjeloviti proteini (13).

7.2.2. Ugljikohidrati

Ugljikohidrati su složeni spojevi na biljnoj bazi, a u tijelu postoje kao monosaharidi; glukoza, fruktoza i galaktoza. Koriste se kao neposredni izvori energije te je prehrana bogata ugljikohidratima važna u cilju postizanja maksimalne hipertrofije (51). Istraživanja pokazuju da čak 80% proizvodnje ATP-a tijekom treninga s otporom, pri umjerenim ponavljanjima, proizlazi iz glikolize. Značajno smanjenje mišićnog glikogena ograničava regeneraciju ATP-a tijekom treninga što rezultira nemogućnošću održavanja kontraktilnosti mišića pri velikim silama (13).

Smanjena razina glikogena ugrožava izvedbu treninga snage te djeluje na povećanje mišićne slabosti. Leveritt i Abernethy, 1999. godine, izvijestili su da iscrpljivanje glikogena u mišićima značajno smanjuje broj ponavljanja izvedenih u 3 serije čučnjeva pri 80% od 1RM (54).

Unatoč pozitivnim učincima ugljikohidrata u prehrani na izvedbu vježbi, postoje dokazi koji dovode u sumnju njihovu nužnost. U starijem istraživanju, Mitchell i suradnici objavili su da plan prehrane koji sadrži 65% ugljikohidrata nije imala veći utjecaj na izvedbu tijekom 15 serija vježbi donjeg dijela tijela u usporedbi s prehranom od 40% ugljikohidrata (55). Također, Paoli i kolege, 2012. godine, dokazali su da 30- dnevna ketogena dijeta (koja sadrži manje od 50g ugljikohidrata) nije negativno utjecala na anaerobnu izvedbu u skupini profesionalnih gimnastičara (56).

Umjerena količina ugljikohidrata u prehrani svakako je potrebna za poboljšanje izvedbe vježbi. U skupini polaznika CrossFita, ispitanici koji su slijedili svoje uobičajene prehrambene navike, postigli su 5 kg povećanja snage čučnja, dok oni koji su slijedili ketogenu dijetu nisu povećali snagu nakon 12 tjedana treninga, u istraživanju iz 2018. godine (57).

Glikogen također može izravno utjecati na hipertrofiju mišića putem unutarstanične signalizacije. Inhibicijom procesa koji troše energiju, niske razine glikogena mijenjaju unutarstaničnu signalizaciju izazvanu vježbanjem. Dokazi pokazuju da unos ugljikohidrata utječe i na proizvodnju hormona. Istraživanje provedeno na zdravim muškarcima pokazalo je višu razinu testosterona nakon 10 dana unosa većih količina ugljikohidrata u usporedbi s prehranom sa smanjenim količinama (unatoč činjenici da su ukupne kalorije i masti bile jednake u obje skupine) (13).

Trenutne smjernice za mišićnu prilagodbu upućuju da bi minimalan dnevni unos ugljikohidrata trebao iznositi 3 g/kg na dan; ali važno je napomenuti da na to utječe niz čimbenika uključujući masu tijela, izvor ugljikohidrata, volumen vježbanja te se smatra vrlo individualnim (51).

7.2.3. Masti

Masti odnosno lipidi, ključni su hranjivi sastojak s važnom ulogom u mnogim tjelesnim funkcijama uključujući apsorpciju vitamina, olakšavanje proizvodnje stanične membrane i regulaciju hormona. U osnovi se dijele na zasićene i nezasićene masne kiseline. Nezasićene masti možemo podijeliti na mononezasićene i polinezasićene masne kiseline ovisno o broju lanaca ugljika. Omega-3 i omega-6 masne kiseline, kao dio skupine polinezasićenih masnih kiselina, tijelo ne može proizvesti zbog nedostatka odgovarajućih enzima, stoga je važno unositi ih hranom (13).

Poznato je da konzumacija masti ima malo ili nimalo utjecaja na izvedbu treninga s otporom s obzirom da tada energija primarno crpi iz anaerobnih procesa odnosno glikolize. Međutim dokazi upućuju da konzumacija masti utječe na koncentraciju testosterona. Testosteron nastaje iz kolesterola; prema tome prehrana osiromašena mastima uzrokuje smanjenu proizvodnju tog hormona. Suprotno tome, prekomjeren unos masti potiskuje proizvodnju testosterona. Ostaje nejasno koliko ove promjene u razini testosterona utječu na hipertrofiju (51).

Pokazalo se da omega-3 masne kiseline imaju važnu ulogu u metabolizmu bjelančevina. Dodatak omega-3 masnih kiselina rezultira povećanjem mišićnih proteina u usporedbi s drugim vrstama masti, a ujedno i smanjuju razgradnju proteina. Istraživanja su bila ograničena činjenicom da nisu provedena zajedno s programom treninga s otporom te ova tema i dalje ostaje spekulativna (13).

Preporuča se dnevni unos masti minimalno 1g/ kg, a općenito bi trebao biti uključen u ravnotežu kalorija nakon izračuna konzumacije proteina i ugljikohidrata (51).

Osim navedenih komponenti, u prehrani treba biti zastupljen odgovarajući unos vitamina, minerala i vlakana (51).

7.3. Mikronutrijenti

Postoje dvije skupine mikronutrijenata, a to su vitamini i minerali.

Minerali su anorganski mikronutrijenti te ih dijelimo na makromineralne (kalcij, fosfor, kalij, sumpor, natrij, klor i magnezij) te elemente u trgovima (željezo, bakar, kobalt, cink, molibden, jod i selen).

Vitamine kao organske mikronutrijente možemo podijeliti na one topive u vodi i one topive u mastima; ova podjela odnosi se na način kako se oni apsorbiraju u tijelu (51). Ovaj podatak govori nam i koliko često ih moramo uzimati.

Vitamine topive u vodi potrebno je uzimati češće s obzirom da pijemo i uriniramo tijekom cijelog dana stoga se velika količina vode neprestano obrađuje u tijelu.

Kada govorimo o kvalitetnom unosu mikronutrijenata, preporuča se unositi vitamine i minerale putem hrane. Korištenjem suplementacije vitamina, čest je slučaj unošenja prevelike količine

određenog vitamina što zapravo može biti štetno za zdravlje. Dr. Clifford Lo, profesor nutricionizma na Harvardu, ističe kako dodatan unos vitamina A iz suplemenata može dovesti do opasnih, toksičnih razina ako se uzimaju prečesto (58). Stoga je važno pokušati postići uravnoteženu prehranu jer se hranom unose i mnogi neesencijalni ali korisni mikronutrijenti poput karotenoida, flavonoida, minerala i antioksidansa kojih nema u većini dodataka (51).

7.4. Dodaci prehrani

Dodaci prehrani su tvari proizvedene s ciljem pružanja hranjivih sastojaka koje tijelo inače ne bi dobilo iz svakodnevne prehrane. Koriste se kako bi se postigla preporučena zdrava početna vrijednost hranjivih sastojaka ili za postizanje veće razine određenih hranjivih sastojaka, za dodatne koristi, koje većina dijeta ne bi mogla osigurati.

Obično proizlaze iz komponenti tipičnih izvora hrane ili su biljnog porijekla. Njihova je namjena ostvarivanje koristi za zdravlje, izvedbu treninga ili oporavak putem različitih mehanizama (51).

8. ZAKLJUČAK

Trening s otporom u kombinaciji s odgovarajućom prehranom primarni su uvjeti u stimuliranju mišićne hipertrofije i povećanja snage. Trening snage i posljedično povećanje mase mišića, važne su sastavnice u brojnim sportovima tijekom kondicijskih priprema zbog povezanosti površine poprečnog presjeka i snage mišića. Povećanje mišićne mase jedan je od ciljeva bodybuildinga, a sve češće i u pojedinaca koji se rekreativno bave fitnessom. Sa zdravstvenog stajališta, odgovarajuća razina mišićne mase povezana je s nižim rizikom od kardiovaskularnih i metaboličkih bolesti u adolescenata te nižim rizikom od dijabetesa tipa II u starije populacije (59). Prije se smatralo, kako je za postizanje napretka u smislu hipertrofije, potrebno trenirati sa više od 70% RM; međutim novija istraživanja pokazuju da se treniranjem s manjim opterećenjima (30-60% RM) postiže sličan mišićni rast kao i trening s umjerenim i velikim opterećenjima, kada se izvodi do otkaza. Osim toga, ističe se kako vježbanje do otkaza nije uvijek nužno za postizanje značajnih rezultata ukoliko se koriste velika opterećenja. Istraživanja pokazuju da se značajan rast mišića događa kada se većina setova izvodi s 3-4 ponavljanja u rezervi odnosno nekoliko ponavljanja prije otkaza (60). Važno je zaključiti kako je potrebno pratiti svoj napredak te periodički mijenjati varijable treninga kako bi se izbjegla stagnacija.

LITERATURA

1. Hernandez RJ, Kravitz L. The mystery of skeletal muscle hypertrophy. The University of New Mexico. 2017. (pristupljeno 1. prosinca 2020.) Dostupno na: https://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/hypertrophy.html?fbclid=IwAR272ipiTNMhYRBpmp3T6f9UbbvlfID-9sTuP4AVXNf3_XR933xsq0-sAEU
2. Schoenfeld, B. The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and Their Application to Resistance Training, Journal of Strength and Conditioning Research. 2010. (pristupljeno 1. prosinca 2020.) Dostupno na: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2010/10000/The_Mechanisms_of_Muscle_Hypertrophy_and_Their.40.aspxLike
3. Kenney, WL, Willmore J, Costil D. Physiology of sport and exercise: Human Kinetics. 2011; str. 29-46
4. Biga LM i sur. Anatomy and Physiology: Skeletal muscle. Oregon state university. (pristupljeno 2. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://open.oregonstate.education/aandp/chapter/10-2-skeletal-muscle/>
5. Karoly, D. Građa skeletnog mišića. 2005; str. 9-10 (pristupljeno 2. prosinca 2020.) Dostupno na: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/karolyi.pdf>
6. R. G. Cassens. Molecular structure of the myofibril. University of Wisconsin. (pristupljeno 5. prosinca 2020.) Dostupno na: https://meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1964/molecular-structure-of-the-myofibril.pdf?sfvrsn=6dd5bbb3_2
7. Exercise Physiology. (2020, November 20). Physiopedia. Dostupno na: https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Exercise_Physiology&oldid=259916. (pristupljeno 7. prosinca 2020.)
8. Bobinac D, Dujmović M. Osnove anatomije.3. izdanje. Rijeka, 2011; str. 90.
9. Brenner B, Eisenberg E. The mechanism of muscle contraction. Biochemical, mechanical, and structural approaches to elucidate cross-bridge action in muscle. Basic Res Cardiol. 1987. (pristupljeno 8. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2959261/>

10. Lumen learning: Muscle fibre contraction and relaxation. (pristupljeno 8.prosinca 2020.) Dostupno na: <https://courses.lumenlearning.com/suny-ap1/chapter/muscle-fiber-contraction-and-relaxation/>
11. Wakim, S., & Grewal, M. (2021, June 10). Muscle Contraction. 2021. (pristupljeno 8.prosinca 2020.) Dostupno na: <https://bio.libretexts.org/@go/page/16812>
12. University of California San Diego: Muscle Physiology: Types of contractions. 2006. (pristupljeno 10. prosinca 2020.) Dostupno na: <http://muscle.ucsd.edu/musIntro/contractions.shtml>
13. Schoenfeld B. Science and development of muscle hypertrophy. Human Kinetics. 2016.
14. Lynn, R and Morgan, DL. Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *J Appl Physiol* 77: 1439-1444, 1994. (pristupljeno 12. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7836150/>
15. Weichhart T. Mammalian target of rapamycin: a signaling kinase for every aspect of cellular life. *Methods Mol Biol.* 2012;821:1-14. (pristupljeno 12. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22125056/>
16. Lasevicius T, Ugrinowitsch C, Schoenfeld BJ, Roschel H, Tavares LD, De Souza EO, Laurentino G, Tricoli V. Effects of different intensities of resistance training with equated volume load on muscle strength and hypertrophy. *Eur J Sport Sci.* 2018 Jul;18(6):772-780. (pristupljeno 15. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29564973/>
17. Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2018). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology.* (pristupljeno 21. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30335577/>
18. de Freitas MC, Gerosa-Neto J, Zanchi NE, Lira FS, Rossi FE. Role of metabolic stress for enhancing muscle adaptations: Practical applications. *World J Methodol.* 2017;7(2):46-54. Published 2017 Jun 26. (pristupljeno 21. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5489423/#B36>
19. Gonzalez AM, Hoffman JR, Townsend JR, Jajtner AR, Boone CH, Beyer KS, Baker KM, Wells AJ, Mangine GT, Robinson EH, et al. Intramuscular anabolic signaling and endocrine response following high volume and high intensity resistance exercise

- protocols in trained men. *Physiol Rep.* 2015;3:pii: e12466. (pristupljeno 22. prosinca 2020.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26197935/>
20. Mang Z, St. Germain J, Kravitz L: Resistance Training Volume is the Key to Muscle Size. The University of New Mexico. 2019. (pristupljeno 22. prosinca 2020.)
Dostupno na:
<http://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/VolumeHypertrophy.html>
21. Schoenfeld, B.J., Contreras, B., Krieger, J. et al: Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2019. 51(1), 94-103. (pristupljeno 23. prosinca 2020.) Dostupno na:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6303131/>
22. Schoenfeld, BJ, Ogborn, D, and Krieger, JW. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J. Sports Sci.* 35: 1073-1082, 2017. (pristupljeno 9. siječnja 2021.)
Dostupno na:
<http://www.ageingmuscle.be/sites/ageingmuscle.be/files/Dose%20response%20relationship%20between%20weekly%20resistance%20training%20volume%20and%20increases.pdf>
23. Schoenfeld, B.J., Ogborn, D. & Krieger, J.W. Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 46, 1689–1697 (2016). (pristupljeno 10. siječnja 2021.)
Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27102172/>
24. Mang Z, Kravitz L: Resistance Training for Muscle Size: How Many Days Per Week is Best? The University of New Mexico. 2019. (pristupljeno 10. siječnja 2020.)
Dostupno na:
https://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/frequency.html?fbclid=IwAR0bE_sxwwHH8aT-FpJ1q6T3T_ZxuzC8AKXcBj7BOuZFXHHvqqWE5_usjuk
25. Schoenfeld, BJ, Grgic, J, and Krieger, J. 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. *J. Sports Sci.* 37: 1286-1295, 2019. (pristupljeno 10. siječnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30558493/>
26. Schoenfeld, BJ, Contreras, B, Willardson, JM, Fontana, F, and Tiryaki-Sonmez, G. Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained

- men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 114: 2491-2497, 2014. (pristupljeno 5. veljače 2021.)
Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25113097/>
27. Schoenfeld, Brad J.; Peterson, Mark D.; Ogborn, Dan; Contreras, Bret; Sonmez, Gul T. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men, *The Journal of Strength & Conditioning Research*: October 2015. (pristupljeno 6. veljače 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25853914/>
28. Tesch, PA, Ploutz-Snyder, LL, Ystrom, L, Castro, MJ, and Dudley, GA. Skeletal muscle glycogen loss evoked by resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*: 67-73, 1998. (pristupljeno 27. veljače 2021.) Dostupno na:
https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/1998/05000/Skeletal_Muscle_Glycogen_Loss_Invoked_by_Resistance.1.aspx
29. Morton, RW, Sonne, MW, Farias Zuniga, A, Mohammad, IYZ, Jones, A, McGlory, C, Keir, PJ, Potvin, JR, and Phillips, SM. Muscle fibre activation is unaffected by load and repetition duration when resistance exercise is performed to task failure. *J. Physiol.* 597: 4601-4613, 2019. (pristupljeno 3. ožujka 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31294822/>
30. Kraemer, WJ, Fry, AC, Warren, BJ, Stone, MH, Fleck, SJ, Kearney, JT, Conroy, BP, Maresh, CM, Weseman, CA, Triplett, NT, et al. Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sport Med* 13: 103-109, 1992. (pristupljeno 7. ožujka 2021.)
Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1555898/>
31. Antonio, J. Nonuniform response of skeletal muscle to heavy resistance training: can bodybuilders induce regional muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res* 14: 102-113, 2000. (pristupljeno 7. ožujka 2021.) Dostupno na: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2000/02000/Nonuniform_Response_of_Skeletal_Muscle_to_Heavy.18.aspx
32. Fonseca, RM, Roschel, H, Tricoli, V, de Souza, EO, Wilson, JM, Laurentino, GC, Aihara, AY, de Souza Leao, AR, and Ugrinowitsch, C. Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. *J. Strength Cond Res.* , 2014. (pristupljeno 15. ožujka 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24832974/>
33. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic

- Adaptations. *Front Physiol.* 2017. (pristupljeno 20. ožujka 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28725197/>
34. Schoenfeld, BJ. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J. Strength Cond Res.* 26: 1441-1453, 2012. (pristupljeno 14. travnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22344059/>
35. Moore, DR, Phillips, SM, Babraj, JA, Smith, K, and Rennie, MJ. Myofibrillar and collagen protein synthesis in human skeletal muscle in young men after maximal shortening and lengthening contractions. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 288: 1153-1159, 2005. (pristupljeno 18. travnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15572656/>
36. Henselmans, Menno & Schoenfeld, Brad. (2014). The Effect of Inter-Set Rest Intervals on Resistance Exercise-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. 44. 10.1007/s40279-014-0228-0. (pristupljeno 20. travnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25047853/>
37. Ratamess, NA, Falvo, MJ, Mangine, GT, Hoffman, JR, Faigenbaum, AD, and Kang, J. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 100: 1-17, 2007. (pristupljeno 20. travnja 2021.) Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-007-0394-y>
38. Ahtiainen, JP, Pakarinen, A, Alen, M, Kraemer, WJ, and Häkkinen, K. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *J Strength Cond Res* 19: 572-582, 2005. (pristupljeno 20. travnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16095405/>
39. Fink, JE, Schoenfeld, BJ, Kikuchi, N, and Nakazato, K. Acute and Long-term Responses to Different Rest Intervals in Lowload Resistance Training. *Int. J. Sports Med.* 38: 118-124, 2017. (pristupljeno 7. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27984843/>
40. Simao, R, de Salles, BF, Figueiredo, T, Dias, I, and Willardson, JM. Exercise order in resistance training. *Sports Med.* 42: 251-265, 2012. (pristupljeno 7. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22292516/>
41. Simao, R, Spinetti, J, de Salles, BF, Oliveira, LF, Matta, T, Miranda, F, Miranda, H, and Costa, PB. Influence of exercise order on maximum strength and muscle thickness in untrained men. *J. Sports Sci. Med.* 9: 1-7, 2010. (pristupljeno 7. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://www.jssm.org/volume09/iss1/cap/jssm-09-1.pdf>

42. Schoenfeld BJ, Grgic J. Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review. *SAGE Open Med.* 2020. (pristupljeno 10. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32030125/>
43. Pinto, RS, Gomes, N, Radaelli, R, Botton, CE, Brown, LE, and Bottaro, M. Effect of range of motion on muscle strength and thickness. *J. Strength Cond Res.* 26: 2140-2145, 2012. (pristupljeno 10. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22027847/>
44. Kubo, K, Ikebukuro, T, and Yata, H. Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2019. (pristupljeno 15. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31230110/>
45. Valamatos, MJ, Tavares, F, Santos, RM, Veloso, AP, and Mil-Homens, P. Influence of full range of motion vs. Equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118: 1969-1983, 2018. (pristupljeno 22. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29982844/>
46. McMahon, G, Morse, CI, Burden, A, Winwood, K, and Onambele, GL. Muscular adaptations and insulin-like growth factor-I (IGF-I) responses to resistance training are stretch-mediated. *Muscle Nerve* , 2013. (pristupljeno 24. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23625461/>
47. Martorelli, S, Cadore, EL, Izquierdo, M, Celes, R, Martorelli, A, Cleto, VA, Alvarenga, JG, and Bottaro, M. Strength Training with Repetitions to Failure does not Provide Additional Strength and Muscle Hypertrophy Gains in Young Women. *Eur. J. Transl. Myol* 27: 6339, 2017. (pristupljeno 24. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28713535/>
48. Nobrega, SR, Ugrinowitsch, C, Pintanel, L, Barcelos, C, and Libardi, CA. Effect of Resistance Training to Muscle Failure vs. Volitional Interruption at High- and Low- Intensities on Muscle Mass and Strength. *J. Strength Cond Res.* 32: 162-169, 2018. (pristupljeno 24. svibnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29189407/>
49. Carroll, KM, Bazzyler, CD, Bernards, JR, Taber, CB, Stuart, CA, DeWeese, BH, Sato, K, and Stone, MH. Skeletal Muscle Fiber Adaptations Following Resistance Training Using Repetition Maximums or Relative Intensity. *Sports (Basel)* 7: 10.3390/

- sports7070169, 2019. (pristupljeno 25. svibnja 2021.) Dostupno na:
<https://www.mdpi.com/2075-4663/7/7/169/htm>
50. Alvidrez, L.M. & Kravitz, L. (2008). Hormonal responses to resistance exercise variables. *IDEA Fitness Journal*, 5(3), 23-25. (pristupljeno 5. lipnja 2021.) Dostupno na: <https://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/hormoneResUNM.html>
51. Helms E. *The muscle and strength training pyramid v2.0 Nutrition*. 2018.
52. Pasiakos, SM i sur. Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults. *J. Nutr.* 140: 745-751, 2010. (pristupljeno 16. lipnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20164371/>
53. Garthe, I, Raastad, T, Refsnes, PE, and Sundgot-Borgen, J. Effect of nutritional intervention on body composition and performance in elite athletes. *Eur. J. Sport. Sci.* 13: 295-303, 2013. (pristupljeno 16. lipnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23679146/>
54. Leveritt, M, and Abernethy, PJ. Effects of carbohydrate restriction on strength performance. 13: 52-57, 1999. (pristupljeno 19. lipnja 2021.) Dostupno na:
https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1999/02000/effects_of_carbohydrate_restriction_on_strength.10.aspx
55. Mitchell, JB, DiLauro, PC, Pizza, FX, and Cavender, DL. The effect of preexercise carbohydrate status on resistance exercise performance. *Int. J. Sport Nutr.* 7: 185-196, 1997. (pristupljeno 20. lipnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9286742/>
56. Paoli, A, Grimaldi, K, D'Agostino, D, Cenci, L, Moro, T, Bianco, A, and Palma, A. Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 9: 34-2783-9-34, 2012. (pristupljeno 20. lipnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22835211/>
57. Kephart, WC, Pledge, CD, Roberson, PA, Mumford, PW, Romero, MA, Mobley, CB, Martin, JS, Young, KC, Lowery, RP, Wilson, JM, Huggins, KW, and Roberts, MD. The Three-Month Effects of a Ketogenic Diet on Body Composition, Blood Parameters, and Performance Metrics in CrossFit Trainees: A Pilot Study. *Sports (Basel)* 6: 10.3390/sports6010001, 2018. (pristupljeno 20. lipnja 2021.) Dostupno na:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29910305/>
58. Harvard Health Publishing. Harvard medical school: Should you get your nutrients from food or from supplements? 2015. (pristupljeno 29. lipnja 2021.) Dostupno na:

<https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/should-you-get-your-nutrients-from-food-or-from-supplements>

59. Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Gołaś A. Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *Int J Environ Res Public Health*. 2019. (pristupljeno 30. lipnja 2021.) Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31817252/>
60. Schoenfeld, B., Fisher, J., Grgic, J., Haun, C., Helms, E., Phillips, S., Steele, J., & Vigotsky, A. Resistance Training Recommendations to Maximize Muscle Hypertrophy in an Athletic Population: Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*. 2021. (pristupljeno 17. kolovoza 2021.) Dostupno na: <https://journal.iusca.org/index.php/Journal/article/view/81/140>

KRATKI ŽIVOTOPIS PRISTUPNIKA

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Karla Poropat

Datum i mjesto rođenja: 24.02.1999., Pula

Telefon: 095 352 3333

E-mail: poropatkarla@gmail.com

OBRAZOVANJE

2013.-2017. Opća gimnazija u Labinu

2017.-2021. Fakultet zdravstvenih studija – Preddiplomski stručni studij Fizioterapija