

Vojko Strojnik<sup>1</sup>

# Vadba za povečanje mišične mase

## *Muscle Hypertrophy Training*

### IZVLEČEK

KLJUČNE BESEDE: vadba za moč, vadba za gibljivost, presnovna obremenitev, mehanska obremenitev, vadbena obremenitev

Mišično maso lahko povečamo z debelitvijo in daljšanjem mišičnih vlaken. Pri tem sodeluje več medsebojno bolj ali manj povezanih mehanizmov, ki jih v grobem lahko razdelimo na mehanske in presnovne. Cilj vadbe za povečanje mišične mase je aktivirati te mehanizme s pomočjo obremenitve na način, ki bo pripeljal do povečane mišične mase. To se lahko razlikuje glede na stopnjo treniranosti, starost, tipe mišičnih vlaken ipd. Zato je vadba za povečanje mišične mase zapletena in z več vidikov še ne povsem razumljena. Cilj tega članka je predstaviti mehanizme, povezane s povečanjem mišične mase, in jih povezati z obremenitvami, ki pripeljejo do povečanja mišične mase. Za povečanje prečnega preseka so najbolj učinkovite obremenitve v okviru vadbe za moč, za podaljšanje mišičnega vlakna pa metode v okviru vadbe za gibljivost.

### ABSTRACT

KEY WORDS: strength training, flexibility training, metabolic stress, mechanical stress, exercise load

Muscle mass can be increased at the expense of thickening and lengthening of muscle fibres. Several more or less interrelated mechanisms, which can roughly be divided into mechanical and metabolic, participate in this. The goal of exercise for increasing muscle mass is to activate these mechanisms through a load in such a way that they will lead to increased muscle mass. This can vary depending on the level of training, age, types of muscle fibres, etc. Therefore, exercise to increase muscle mass is complex and in many ways not yet fully understood. The goal of this article is to present the mechanisms associated with the increase in muscle mass and relate them to loads that lead to an increase in muscle mass. To increase a muscle's cross-section, loads in strength training provide the best effect; for muscle fibre prolongation, flexibility training methods are most effective.

<sup>1</sup> Prof. dr. Vojko Strojnik, prof. šp. vzg., Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Gortanova ulica 22, 1000 Ljubljana; vojko.strojnik@fsp.uni-lj.si

## UVOD

Povečanje in ohranjanje mišične mase ni pomembno le pri športu, nadzoru telesne mase ali oblikovanju telesa, temveč tudi pri procesu staranja, obravnavi oseb s poškodbami gibalnega aparata in kroničnimi nenaletljivimi boleznimi ter osebah, pri katerih zaradi različnih razlogov pride do zmanjšane obremenitve gibalnega sistema (vesoljski poleti, dolgotrajno ležanje, imobilizacije, razbremenitve ipd.).

Povečanje mišične mase je povezano z različnimi mehanizmi, ki se odzovejo na mehansko in presnovno obremenitev mišice. Odzivnost teh mehanizmov je povezana z različnimi stanji vadečih. Mednje spadajo stopnja treniranosti, starost, spol, tip mišičnih vlaken, odzivnost na vadbo, različne nepravilnosti signalnih poti, ki so povezane z mišično rastjo idr. Aktivacijo mehanizmov povzročajo vadbene metode, s katerimi obremenimo gibalni aparat tako, da se bo odzval s povečanjem mišične mase. Najpomembnejši sta vadba za moč in vadba za gibljivost. Vendar to ne pomeni, da lahko vsaka vadba za moč in vsaka vadba za gibljivost enako učinkovito prispeva k povečanju mišične mase.

Za delovanje mišice je pomembna tudi njena aktivacija, ki je povezana z delovanjem živčnega sistema. Zadostna aktivacija mišice je pogoj, da lahko mišica razvije ustrezno silo oz. mehansko-presnovne pogoje, ki bodo sprožili signaliziranje za povečanje mišične mase. Poleg aktivacije je za učinkovito delovanje mišice potrebna tudi ustrezna razvitost znotraj- in zunajceličnih mrež, ki sodelujejo pri razvoju in prenosu sil v mišici ter z mišice na okolje, hkrati pa so povezane z ohranjanjem mišične arhitekture, ki je pomembna za zaščito mišice pred poškodbami. Zato je pri obravnavi mišice treba upoštevati tudi ta dva vidika.

## DEJAVNIKI VPLIVANJA NA VADBO ZA MIŠIČNO MASO

Stopnja treniranosti pomembno določa uporabo metod vadbe za povečanje mišične

mase. Za netrenirane in rekreativno trenirane osebe je značilno, da se njihove mišice pri vadbi za moč odzovejo s povečanjem mišične mase neodvisno od velikosti bremena. To velja za izvedbo ponovitev v seriji do odpovedi in pri dokaj kratkih obdobjih vadbe (1). Pri v moči dobro treniranih osebah je njeno nadaljnje povečanje mogoče le s specifičnimi obremenitvami, povezanimi z učinkoviti metodami vadbe za moč za povečanje mišične mase. Govorimo o prilagoditvenem oknu, ki je pri netreniranih odprto, pri treniranih pa vedno bolj priprto. S treniranostjo se odzivnost na obremenitev zmanjšuje, hkrati pa nadaljnje spremembe zahtevajo vedno bolj specifično vadbo oz. obremenitev.

Starost pomembno določa odzivnost mišic na obremenitev za povečanje mišične mase (2). Pri otrocih in mladostnikih oz. v predpubertetnem obdobju vadba za povečanje mišične mase praviloma nima posebnega odziva (3). To se s spolno zrelostjo spremeni, saj se z dosego spolne zrelosti začne obdobje učinkovitega anaboličnega odzivanja na obremenitve, povezane s povečanjem mišične mase. S staranjem se odzivnost postopno zmanjšuje, vendar ostaja prisotna tudi v pozni starosti (4). Zato pri otrocih in mladostnikih oz. v predpubertetnem obdobju vadba za povečanje mišične mase ni učinkovita in se je tudi ne izvaja. Njen čas nastopi z nastopom spolne zrelosti in traja v pozno starost. Vadba za hipertrofijo je najučinkovitejši način za preprečevanje oz. zmanjšanje sarkopenije v starosti.

Posamezni tipi mišičnih vlaken se razlikujejo v odzivu na vadbo za povečanje mišične mase. Hitra mišična vlakna (tip II) se povečajo v večji meri kot počasna (tip I) (5). Zaradi tega ima struktura mišičnih vlaken v mišici pomembno vlogo pri povečanju mišične mase. Mišice s pretežno počasnimi mišičnimi vlakni bodo manj povečale mišično maso kot tiste s pretežno hitrimi mišičnimi vlakni. Vadba za mišično maso začasno spremeni strukturo mišičnih vlaken

v korist počasnejših, po prenehanju vadbe pa se v 2–3 mesecih poveča delež hitrejših mišičnih vlaken in lahko preseže začetno razmerje. Moški in ženske se podobno odzivajo na vadbo za povečanje mišične mase (1).

## VRSTE POVEČANJA MIŠIČNE MASE

Čeprav pri povečanju mišične mase praviloma govorimo predvsem o povečanju prečnih presekov, je treba obravnavati tudi rast mišice v dolžino. Prečni presek in dolžina mišice določata njeno prostornino. Z mehanskega vidika prečni presek povežemo z mišično silo, dolžino mišice s hitrostjo njenega krajšanja, volumen pa z mehansko močjo (sila pomnožena s hitrostjo), ki jo mišice lahko razvijejo. Ker se večina gibalnih nalog v vsakdanjem življenju izvaja z nizko hitrostjo, je razvoj sile in njeno ohranjanje (preprečevanje utrujenosti) ključni vidik vadbe za moč.

Prečni presek mišice se lahko poveča zaradi hipertrofije ali hiperplazije (6). Prvi način pomeni odebelitev obstoječih mišičnih vlaken, drugi pa oblikovanje novih mišičnih vlaken v mišici. Pri ljudeh je hipertrofija ključni mehanizem za povečanje prečnega preseka mišice, hiperplazija pa po ocenah prispeva le nekaj odstotkov k povečanju mišične mase. Začasno povečanje prečnega preseka lahko dosežemo tudi s povečanjem tekočin in nekontraktilnih elementov v mišici (sarkoplazmična hipertrofija), kar je mogoče opaziti po vsaki malo večji obremenitvi mišice, ki poveča krvni pretok in osmotski tlak v mišici. Čeprav je takšno povečanje mišice na zunaj videti podobno kot povečanje mišične mase, pa tovrstnega otekanja mišice ne upoštevamo kot povečanje mišične mase, saj ni povezano s spremembo kontraktilnega dela mišice.

Daljšanje mišičnih vlaken je povezano z nastajanjem novih sarkomer na koncih mišičnih vlaken. S tem se poveča število sarkomer v zaporedju. Dolžina mišice se prilagaja novi funkcionalni dolžini, kar je

mogoče videti pri imobilizaciji, ko se pri skrajšani dolžini mišice število sarkomer v zaporedju zmanjša, pri daljši dolžini mišice pa poveča (7). Vadba za moč krajša mišična vlakna, zato mora biti vadba za giblivo obvezno pridružena vadbi za moč, da se njihova dolžina vsaj ohrani.

## MEHANIZMI POVEČANJA MIŠIČNE MASE

### Satelitske celice, mišično signaliziranje, anabolni hormoni

Mišica med celotno življenjsko dobo ne zamenja veliko celic. Da bi ohranila njihovo število in s tem svojo maso, mora imeti na razpolago učinkovite mehanizme za celična popravila, ki se kažejo tudi z nadzorom razmerja med anabolnimi in katabolnimi procesi v mišični celici (8). Pomembno vlogo pri hipertrofiji mišice imajo satelitske celice, ki se nahajajo v okolici sarkoleme. Z ustreznim mehanskim dražljajem mišice postanejo aktivne, kar sproži njihovo proliferacijo in vključitev v obstoječo mišično celico, kar poveča kapaciteto za sintezo novih kontraktilnih beljakovin ali v povezavi z drugimi satelitskimi celicami tvori nove mišične celice (9). Pomembno vlogo pri nadzoru mišične mase imajo mišične signalne poti, ki jih sprožijo različne mehanske in presnovne obremenitve. Slednje prek signalnih poti na različne načine spodbujajo mišično hipertrofijo.

Naslednji dejavnik za nadzor hipertrofije so hormoni in citokini (zlasti interleukin 5 in 6), povezani z anabolnimi in katabolnimi procesi v mišici. Njihovo uravnavanje je zapleteno, saj pri njem sodeluje mnogo hormonov in citokinov (10). Med pomembne anabole hormone spadajo testosteron, rastni hormon (RH) in inzulinu podobni rastni dejavnik (angl. *insulin-like growth factor*, IGF). Učinek testosterona, povezan z vadbo za moč, je dvojen. Obenem vpliva na rast mišic in delovanje živčnih celic, povezano s prevajanjem akcijskih potencialov. Njegov učinek je manjši pri

ženskah in starejših, pri katerih je njegovo izločanje zmanjšano. RH spodbuja maščobno energijsko presnovo in prenos aminokislin v celico ter njihovo vezavo v različne beljakovine (9). S tem zagotavlja energijo in gradnike za hipertrofijo. Njegov učinek se kaže tudi s spodbujanjem izločanja lokalnega IGF, ki velja za najpomembnejši anabolni hormon (11).

### **Celična oteklina**

Otekanje mišičnih celic ima pomembno vlogo pri uravnavanju mišičnih funkcij, povezanih z anaboli procesi (12). Poleg fiziološkega vpliva lahko celična oteklina zaradi povečanega znotrajceličnega pritiska med krčenjem obremeni znotrajcelično mrežo, ki sproži signaliziranje za okrepitev njene strukture. Vadba za moč sproži celično otekanje, ki je odvisno od vrste obremenitve (13). Obremenitve, ki uporabljajo anaerobni glikolitični energijski mehanizem in vodijo do visokih koncentracij laktata v mišici, s tem povzročajo največje osmotske spremembe v mišičnih celicah (14). Pri tem so še posebej izpostavljena hitra mišična vlakna, in sicer tako zaradi intenzivnejše glikolize kot večje sposobnosti prenašanja vode prek celične membrane. Tudi povečana koncentracija glikogena v mišici zaradi vadbe je eden od vzrokov za mišično otekanje, saj 1 g glikogena veže nase 3 g vode (15).

### **Hipoksija**

Hipoksija ob prisotnosti vadbe ali neodvisno od nje prispeva k povečanju oz. ohranjanju mišične mase. Vadba z omejitvijo krvnega pretoka (okluzijo) omogoča, da se povečanje mišične mase zgodi že pri majhni bremenih, in sicer pri 20–40 % največjega bremena, ki ga lahko enkrat dvignemo (angl. *one repetition maximum*, 1-RM) (16). Pri klasični vadbi za moč so tipična bremena za povečanje mišične mase 60–80 % 1-RM (17). Zagotavljanje hipoksičnih pogojev pri velikih obremenitvah je mogoče zaradi velikega intramuskularnega pritiska, ki

zaustavi krvni pretok v mišici, kar se zgodi pri okoli 50 % največje hotene izometrične kontrakcije (angl. *maximum voluntary contraction*, MVC). Pri manjših bremenih to omogoči okluzija.

Obstaja več razlag za učinek hipoksije na mišično rast. Hipoksija povzroči povečano koncentracijo laktata v mišici, kar poveča celično otekanje in s tem sproži signalno pot za povečano sintezo beljakovin. V hipoksičnih pogojih se poveča aktivnost prostih radikalov, ki bi lahko imeli hipertrofični učinek na skeletno mišico (18). Po koncu ishemične vadbe se poveča krvni pretok v mišici, kar bi lahko omogočilo povečan dotok anaboličnih hormonov in drugih anaboličnih spodbujevalcev (17).

### **Mehanska obremenitev**

Mehanska obremenitev, ki se pojavlja med mišičnim naprežanjem ali raztezanjem mišice, je eden ključnih dejavnikov za mišično rast. Nasprotno se zgodi pri razbremenitvi mišice, ki povzroči njeno atrofijo. Natančni mehanizmi, ki nadzorujejo anabolno-katabolne procese v mišici zaradi njene napetosti, niso povsem jasni. Že pasivno raztezanje mišice lahko sproži rast mišične mase, ki se pojavi predvsem v hitrih mišičnih vlaknih (19). Razlike lahko izhajajo iz različnega odziva titina na raztezanje v posameznih tipih mišičnih vlaken. Pri aktivnem raztezanju mišice (ekscentričnem naprežanju) se napetost v mišici še dodatno poveča zaradi raztezanja zaporednih in vzporednih elastičnih elementov in togosti na kratki razdalji (7, 20). Čeprav lahko povečana napetost v mišici sama sproži hipertrofijo mišice, pa je pri vadbi za mišično maso treba upoštevati še kombinacijo drugih učinkov, da ta vodi v hipertrofijo. Nekatere obremenitve v okviru vadbe za moč (npr. metode maksimalnih mišičnih naprežanj ali metode za povečanje hitre moči) nimajo bistvenega vpliva na povečanje mišične mase, čeprav so pri njih napetosti v mišicah zelo visoke (17).

## Mišične poškodbe

Lokalne mišične poškodbe bi bile lahko razlog za povečanje mišične mase (21). Sem spadajo poškodbe tkiv na makromolekularni ravni, kot so poškodbe sarkoleme, vezivnega tkiva, intramuskularne mreže in kontraktilnih beljakovin (9). Med naprezanjem se pojavi neenakomerno raztezanje sarkomer v posameznih delih miofibrile. To lahko pripelje do lokalnih zamikov miofibril, ki povzročijo deformacijo membran, zlasti cevčic T, kar posledično zaradi motenj kalcijevega cikla vodi v trganje sarkomer vzdolž prizadetih cevčic T (22). Poškodba povzroči vnetni odziv mišice in sproži signaliziranje, ki popravi poškodbo. Tovrstne poškodbe, ki se raztezajo v globino mišične celice, so tipične za zakasnjeno mišično bolečino, ki se pojavi po intenzivnih ekscentričnih naprezanjih, in so povezane z utrujenostjo. Zaradi odziva na zakasnjeno mišično bolečino se mišična masa ne poveča. Poškodba za sprožitev povečanja mišične mase bi bilo lahko vzdolžno cepljenje miofibril in mišičnih vlaken (23). Otekanje mišičnih celic in sile zaradi mišičnega naprezanja povečajo znotrajcelični pritisk, ki ne deluje le vzdolž mišičnega vlakna, temveč tudi v prečni smeri. S tem obremeni prečni del intramuskularne mreže (predvsem črte Z), ki lahko zaradi velike radialne sile popusti.

## Presnovna obremenitev

Presnovna obremenitev je povezana z anaobolnimi procesi v mišici, vendar ji različni avtorji pripisujejo različno pomembno vlogo (24–27). Presnovna obremenitev se kaže prek anaerobne glikolize za obnovo ATP, ki posledično povzroči povečanje koncentracije laktata, vodikovih ionov, anorganskih fosfatov, kreatina ipd. (28). Njeni učinki se še povečajo v povezavi z ishemijsko. Posledice presnovnih sprememb pri vadbi za hipertrofijo naj bi vplivale na hormonski odziv, otekanje celic, proste radikale in ostale dejavnike, povezane s povečano sintezo beljakovin v mišici (29).

## VADBA ZA POVEČANJE MIŠIČNE MASE

S povečanjem mišične mase sta najbolj povezani dve vrsti vadbe: vadba za moč in vadba za gibljivost. Delujeta lahko ločeno ali pa sta medsebojno povezani na isti vadbeni enoti na različne načine. Cilj obeh vrst vadb je s pomočjo ustreznih obremenitev vplivati na kombinacijo mehanskih in presnovnih mehanizmov za povečanje mišične mase (30). Poleg teh dveh oblik vadb se uporabljajo še druge oblike obremenitve, kot sta ekscentrična vadba in električna stimulacija mišic. Da bi bila tovrstna vadba čim bolj učinkovita, je treba vadbene obremenitve skrbno načrtovati. Načrtovanje obsega izbiro vaj in obremenitev ter časovni načrt za njuno uporabo.

### Vadba za moč

Vadba za moč je namenjena razvoju sposobnosti, ki omogočajo učinkovito delovanje v pogojih, pri katerih so prisotne velike sile ali veliki prirastki v sili. Znotraj tega okvirja poznamo pet ciljev vadbe za moč:

- povečanje mišične mase,
- sposobnost čim večje aktivacije posamezne mišice (intramuskularna koordinacija),
- sposobnost eksplozivne izvedbe gibov (intermuskularna koordinacija),
- sposobnost izvedbe ekscentrično-koncentričnih gibov (nadzor mišične togosti) in
- vzdržljivost v moči.

Vsak od teh ciljev ima svojo skupino metod s specifičnimi obremenitvami, ki omogočajo prilagajanje obremenitve različnim okoliščinam oz. dejavnikom.

Opis vadbe pri vadbi za moč vključuje velikost bremena, število serij ponovitev, trajanje in vrsto odmora med serijami, število ponovitev v seriji, način izvajanja ponovitev v seriji, občutek napora na koncu serije, izbiro vaj, način izvajanja vaj, čas med dvema zaporednima vadbenima enotama in trajanje obdobja vadbe. Šele natančen opis

vseh teh spremenljivk daje vpogled v dejansko obremenitev. V grobem bi lahko ta opis razdelili na dve kategoriji: obremenitev, ki določa vrsto adaptacije, in lokacijo, kjer naj bi se ta adaptacija zgodila. Pri vadbi za moč pogosto opazimo, da dobijo vadeči le seznam vaj (lokacija – mišica), ki naj jih izvedejo, ne pa tudi obremenitve. Če je dodana obremenitev, pa je ta praviloma nepopolna, saj ne vsebuje vseh spremenljivk, ki določajo njen opis. Zaradi tega je vadba za moč velikokrat manj učinkovita, kot bi lahko bila.

### **Velikost bremena**

Čeprav nekateri velikost bremena enačijo z intenzivnostjo, predstavlja breme le del intenzivnosti vadbe. Drugi del intenzivnosti vključuje način izvedbe ponovitve, ki bo obravnavan kasneje. Velikost bremena je nedvomno pomembna za pojav hipertrofije. Izražena je kot delež največjega bremena, ki ga še lahko dvignemo (1-RM), ali kot breme, ki ga lahko dvignemo n-krat. Tako 10-RM predstavlja breme, ki ga lahko dvignemo desetkrat. Breme 10-RM ustreza približno 80 % 1-RM. Tipična bremena, ki se uporabljajo za povečanje mišične mase, so 60–80 % 1-RM. Glede na velikost bremena in posledično število ponovitev v seriji ločimo različne metode vadbe za moč, namenjene povečanju mišične mase (17). Praviloma se metode z manjšim bremenom (60 %) uporabljajo pri osebah, ki začnajo vadbo za moč. S treniranostjo (v tem primeru hipertrofijo mišic) postajajo uporabljene metode vedno manj učinkovite in jih je zato treba zamenjati z bolj učinkovitimi. Najpogosteje se za to uporabi povečanje bremena. Pri vadbi za povečanje mišične mase je to do 80 % 1-RM ali še več (1).

Velikost bremena je pomembna zaradi zagotavljanja ishemije, velikosti tlaka v mišici in rekrutacije motoričnih enot. Ishemijo povzroča intramuskularni tlak, ki stisne žile in prepreči pretok krvi skozi mišico. To se zgodi pri bremenih, ki zah-

tevajo sile, večje od 50 % MVC. Kot je prikazano zgoraj, so bremena za povečanje mišične mase večja od 50 % MVC, čemur ustreza nekaj večji delež 1-RM. Za vzdržljivost moči so bremena manjša ali enaka 50 % 1-RM, vse ostale značilnosti so enake kot pri vadbi za povečanje mišične mase; vendar je pri taki vadbi povečanje mišične mase neznatno. Podobno se zgodi, če je vadba izvedena z velikimi bremenami (> 90 % 1-RM) in malo ponovitvami. To kaže, da je izbira prave velikosti bremena pomemben dejavnik pri povečanju mišične mase.

Pri netreniranih v moči se ta razmerja lahko bistveno spremenijo. Hipertrofični učinki vadbe se lahko začnejo kazati že pri bremenih, večjih od 30 % 1-RM (31). Občutek napora in neugodja pri velikih bremenih pa je veliko večji kot pri srednje velikih bremenih, značilnih za povečanje mišične mase (32). Zato je iz praktičnega vidika uporaba srednjih bremen psihološko lažja in je lahko pomemben dejavnik vztrajanja pri vadbi.

### **Obseg vadbe**

Ključni element obsega vadbe pri vadbi za moč predstavlja število ponovitev izvedbe posamezne vaje. Te ponovitve so razdeljene v posamezne serije. Tako obseg vadbe predstavlja število ponovitev v seriji pomnoženo s številom serij. Pri vadbi za mišično maso se določanje obsega vadbe spremeni, saj se dejanska obremenitev pojavi šele na koncu serije z vzpostavitvijo specifičnih pogojev za hipertrofični odziv. Pri tem je pomembno, da je zadnja ponovitev v seriji tista, ki jo je še mogoče izvesti s pravilno tehniko. To pomeni, da se ponovitve v seriji izvajajo do odpovedi (33). S ponavljanjem večjega števila serij se ta učinek še povečuje. Nasprotno se pri vadbi za izboljšanje mišične aktivacije specifični vadbeni pogoji vzpostavijo pri vsaki posamezni ponovitvi, veliko število ponovitev pa zaradi utrujenosti zmanjšuje njene učinke. Zaradi anaerobne glikolize se na koncu

serije pojavi močna bolečina v mišici, ki marsikomu preprečuje, da bi serijo izvedel do odpovedi. Od tod rek »brez bolečine ni napredka« (angl. *no pain, no gain*).

Največji anabolni odziv pri tipični hipertrofični obremenitvi se pojavi pri desetih ponovitvah pri bremenu 10-RM (do odpovedi). Z manjšim številom ponovitev pri istem bremenu je ta odziv bistveno manjši (24, 35). S številom serij se odziv povečuje, saj štiri serije povzročijo večji odziv RH kot dve seriji (36). Za največji prirastek mišične mase je potrebnih najmanj deset serij tedensko na mišično skupino (37).

Za povečanje učinka pri že hipertrofiranih mišicah se po koncu serije normalno izvedenih ponovitev lahko doda še nekaj (2–3) pekočih, dodatnih ali negativnih ponovitev. Pekoče ponovitve vadeči izvede tako, da omeji amplitudo izvajanja le na tisti del, na katerem še lahko izvede gib. Dodatne in negativne ponovitve se izvedejo s pomočnikom. Ko vadeči ne more več izvesti naslednje ponovitve (kar predstavlja konec serije), mu pomočnik pomaga z minimalno dodatno pomočjo dvigniti breme v končni položaj. Pri dodatni ponovitvi vadeči breme samostojno spusti v spodnji položaj (submaksimalno ekscentrično breme). Pri negativni ponovitvi pa je to spuščanje oteženo s strani pomočnika, tako da vadeči izvede največje hoteno ekscentrično naprezanje. Vse omenjene ponovitve povečajo presnovne učinke predhodnih ponovitev, negativne pa povzročijo še večje tlake v mišici in možnost dodatne aktivacije hitrih motoričnih vlaken (38).

### Odmor

Pri obsegu vadbe je treba omeniti tudi prekinitve med ponovitvami in serijami ter število dni za regeneracijo med vadbenimi enotami, ki igrajo pomembno vlogo. Med posameznimi ponovitvami se pri vadbi za mišično maso praviloma ne izvaja odmorov. Odmor med ponovitvami bi omogočil prekrvavitev mišice in s tem zmanjšal učin-

ke ishemije, presnovnih sprememb in intramuskularnega tlaka. Zato je pomembno, da med ponovitvami znotraj serije ne prihaja do razbremenitve mišice in da je njena napetost vedno nad 50 % MVC. Odmori med serijami morajo biti dovolj kratki, da pride do delne obnove zaloga kreatin fosfata, ki omogočijo kakovostno izvedbo naslednje serije. Hkrati pa morajo biti dovolj kratki, da pride do akumulacije učinkov glikolize z dodajanjem dodatnih serij. S tem povečajo mišično oteklino in presnovne spremembe za anabolni odziv. Pri tipični hipertrofični obremenitvi 10-RM pri trajanju serijskega odmora tri minute skorajda ne moremo opaziti anabolnega odziva (39). Primerjava kratkih (< 30 s) in srednje dolgih (60–90 s) odmorov je pokazala, da so srednje dolgi bolj primerni, saj omogočajo obnovo skoraj celotne kapacitete za razvoj sile (40, 41).

Odmor je povezan tudi s pogostostjo (gostoto) vadbe. Običajno so potrebni trije dnevi za obnovo po vadbi za hipertrofijo, kar ustreza pogostosti vadbe dvakrat tedensko za isto mišico (1). Čeprav je velik obseg vadbe do določene mere zaželen in vadeči večkrat uporabijo preseganje za povečanje učinka vadbe, pa sta prevelik obseg in gostota vadbe lahko tvegana. Vodita lahko v pretreniranost, ki spremeni anabolno-katabolno razmerje v smer prevlade katabolizma (42).

Da se izognemo pretreniranosti, je smiselno vadbo za hipertrofijo občasno prekiniti in omogočiti odmor. To lahko dosežemo npr. z menjavo vadbe za hipertrofijo z vadbo za aktivacijo (bremena > 90 % 1-RM in malo število ponovitev). Običajni ritem je tri tedne vadbe za hipertrofijo, ki mu sledi teden za aktivacijo (običajno brez eksplozivnih izvedb ponovitev).

### Način izvajanja ponovitev

Način izvajanja ponovitev vključuje vrsto mišičnega naprezanja in hitrost izvedbe. Najbolj pogost način izvajanja ponovitev pri vadbi za povečanje mišične mase je tekoče

koncentrično. Izvedba koncentričnega dela v eni sekundi je z vidika hipertrofije bolj učinkovita, kot če se izvaja tri sekunde (43). Še manj učinkovito je t.i. superpočasno izvajanje ponovitev (> 10 sekund) (44). V ekscentričnem delu ponovitve bi počasnejše izvajanje lahko bilo bolj učinkovito (45). V praksi se ekscentrični del izvaja dve sekundi (17). Med obema deloma ni prekinitev, temveč se medsebojno tekoče navezujeta. Za zagotavljanje ishemije se napetost v mišici med izvajanjem ponovitev ne sme spustiti pod 50 % MVC. To se dogaja med dotikom uteži s podlago ali pa delom v amplitudah, pri čemer breme ne zagotavlja več zadostne napetosti v mišici oz. ne sledi odnosu navor-kot v sklepu. Primer tega je, da pri upogibanju komolca z ročko pri navpični podlakti teža ročke zaradi odsotnosti ročice ne povzroča nobenega navora v komolčnem sklepu. To pomeni, da mišicam ni treba razvijati sile oz. zadošča že minimalna sila za uravnovešanje položaja. Zato bo amplituda giba pri tej vaji omejena na tiste kote v komolcu, pri katerih bo ročka zagotavljala dovolj velik navor za ishemijo in bo relativna obremenitev mišice znotraj te amplitude približno enakomerna in skladna z izbranim deležem 1-RM. Približno enakomerno relativno obremenitev znotraj skoraj celotne amplitude giba omogočajo vadbene naprave (trenažerji). Z uporabo »ledvičke« prilagodijo ročico teže uteži tako, da ta ustreza odnosu navor-kot v sklepu. Obremenitev mišice v celotnem gibu se zdi najbolj optimalna za povečanje mišične mase. Če to ni mogoče, je izvedba pri delu giba v sklepu, pri čemer je mišica podaljšana, bolj učinkovita kot pri skrajšani mišici.

Raziskave kažejo, da imajo ekscentrične ponovitve lahko večji hipertrofični učinek kot koncentrične (46). Zato bi bilo smiselno v vadbo hipertrofije vključiti tako koncentrične kot ekscentrične izvedbe ponovitev. Ena od možnosti uporabe ekscentričnih naprezanj, ki upošteva vse bistvene mehanizme vadbe za hipertrofijo, so negativne ponovitve.

Hipertrofični učinek je mogoče doseči tudi z izometričnimi ponovitvami (47). Večji učinek se kaže pri izvajanju obremenitev pri večji dolžini mišice. Takšna vadba je lahko aktualna v kliničnem okolju, kjer so prisotne različne omejitve glede izvedbe drugih vrst ponovitev.

### **Izbira vaj**

Z izbiro vaje določimo lokacijo (mišico), kjer naj bi se zgodila sprememba zaradi obremenitve. Pri iskanju pravega položaja je mogoče spreminjati kot vlečenja, položaje udov in opore za stabilizacijo (kar omogoča različno aktivacijo posameznih delov iste mišice oz. različnih mišic iste kinetične verige ter različna razmerja med agonisti in sinergisti). To daje možnost široke izbire pri specifični obravnavi posamezne mišice oz. njenega dela (6).

Mišice se lahko glede svojih nalog močno razlikujejo. Nekatere opravljajo eno, druge več nalog (npr. *m. deltoideus* lahko odmika roko ali pa izvaja upogibanja in iztegovanja v ramenu). Iste mišice so lahko aktivirane z različnimi živci, posamezne glave iste mišice imajo lahko različno mišično arhitekturo (npr. dolga in kratka upogibalka zapestja), različna aktivacija posameznih glav iste mišice je lahko povezana z anatomskimi položaji (npr. vpliv pronacije/supinacije podlahti na aktivacijo posameznih glav dvoglave nadlaktne mišice). S spremembo kota v enem sklepu lahko spremenimo razmerje med enosklepnimi in dvosklepnimi mišicami (npr. koaktivacija velike mečne mišice in dvoglave mečne mišice glede na kot v kolenu). Pri večsklepnih gibih se vloga posameznih mišic znotraj kinetične verige spreminja (počepi, iztegi rok). Vse to kaže, da je za uravnovešeno rast posameznih mišic smiselno uporabiti več različnih vaj, ki bodo aktivirale vse predele mišice.

Večsklepne vaje vključujejo več mišične mase, kar ima večji vpliv na anabolni hormonski odziv. Velikost vključene mase

v vadbo za hipertrofijo je povezana z anaboličnim odzivom, zato večsklepne vaje povzročijo večji anabolični odziv v primerjavi z enosklepnimi (48). Pri večsklepnih vajah je vključenih veliko mišic, ki stabilizirajo posamezne dele telesa. Pri počepu npr. niso aktivne le iztegovalke nog, temveč pri gibu sodeluje množica mišic, ki podpirajo stabilno in koordinirano izvedbo počepa – ocenjeno je, da pri tem sodeluje okoli 200 mišic (49). Po drugi strani enosklepne vaje omogočajo bolj enakomerno obremenitev ciljane mišice kot večsklepne in so primerne za povečanje mase točno določene mišice.

Nekatere vaje za moč se izvajajo v pogojih zmanjšane ravnotežja, na nestabilnih podlagah. V takih primerih se poveča aktivacija mišic, ki stabilizirajo trup, in zmanjša storilnost glavnih mišic, ki izvajajo gib (50, 51). Zaradi nestabilnosti se lahko sila potiska zmanjša tudi za več kot 50%. Čeprav vadba za moč v pogojih zmanjšane ravnotežja zmanjšuje učinke vadbe in zmanjša hipertrofični učinek, pa je lahko uporabna pri mišicah, ki stabilizirajo trup oz. ledveni del (angl. *core muscles*). Izvajanje upogibanja trupa na nestabilni podlagi bistveno poveča aktivacijo vzdolžne in zunanjih poševnih trebušnih mišic (52).

Vaje pri vadbi za moč so močno povežane z uporabo vadbenih pripomočkov. Uporabljamo vadbene naprave, škripce, drogeve, ročke in druge proste uteži. Razlikujejo se v natančnosti nadzora nad velikostjo bremena, smerjo delovanja sile oz. navora, možnosti stabilizacije neaktivnih delov telesa idr. Vadbene naprave omogočajo najboljšo osamitev posameznih mišic, saj z oporami omogočajo večjo stabilnost izvedbe vaje in s tem nižjo koaktivacijo sinergistov in drugih mišic. Z večanjem stopenj prostosti izvedbe giba (manjšanje števila opor) se učinkovitost giba zmanjšuje. Npr. potisk od prsi z drogom v vodilih omejuje iztegovanje rok le v eni smeri. Zato ni potrebe po aktivaciji mišic, ki nadzirajo, da gibanje ne bi zašlo z zelene smeri. S prostim drogom

je razdalja med rokama določena. Zato so dodatno aktivne mišice, ki vzdržujejo drogo nad ramenskim sklepom brez potrebe po nadzoru razdalje med rokama. Izvedba iste naloge z ročkami nima več nadzora nad razdaljo med rokama, zato ima največ stopenj prostosti in zahteva največji delež aktivacije stabilizacijskih mišic.

Zaporedje izvajanja vaj na vadbeni enoti se običajno začne z vajami, ki vključujejo več mišične mase, nadaljuje pa se s tistimi, ki jo vključujejo manj, čeprav glede učinkov vrstnega reda vaj na hipertrofijo ni jasnih smernic (53). Ko je vrstni red vaj določen, se izvedejo vse serije iste vaje, nato je na vrsti naslednja vaja. Takšna organizacija dela se imenuje vadba po postajah.

### Metode vadbe za moč za povečanje mišične mase

Obstaja več metod za povečanje mišične mase. V tabeli 1 je prikazan le del metod, ki so namenjene povečanju mišične mase.

Pri vseh metodah se uporabljajo tekoče koncentrične ponovitve, pri čemer koncentrični del traja eno sekundo, ekscentrični pa dve. Med ponovitvami v seriji ni odmora oz. prekinitev naprežanja. Cilj je izvesti serijo do odpovedi. Pri določanju obremenitve je pomembnejše število ponovitev v seriji. Velikost bremena ima predvsem orientacijsko vrednost. Če je število ponovitev v seriji do odpovedi torej manjše od predvidenega, je treba breme zmanjšati in obratno. Običajno je mogoče prvi dve seriji izvesti z istim bremenom, v naslednjih pa je zaradi utrujenosti breme treba ustrezno zmanjšati.

Pri zdravih osebah in športnikih sta najpogosteje uporabljene metode ekstenzivna bodybuilding metoda (EBM) in standardna metoda 1 (SM1). EBM je metoda z najmanjšimi bremenimi in največjim številom ponovitev in se uporablja kot uvodna metoda v vadbo za moč. Kot začetna metoda je uporabljena v življenjskem ciklu športnika, ko se ta prvič sreča z vadbo za povečanje

mišične mase, in v začetku pripravljenega obdobja, ne glede na končni cilj vadbe za moč. To velja za vrhunske športnike v vseh disciplinah moči. Na začetku vadbe za hipertrofijo je vedno nujno uvajalno obdobje, v katerem se izvajajo skrajšane serije. Na začetku običajno tri ponovitve in nato vsak teden eno ponovitev več.

Vadba za hipertrofijo naj bi trajala vsaj osem tednov. V prvem mesecu lahko večino povečanja moči pripišemo boljšemu delovanju živčnega sistema, nato je napredek v moči v večji meri odvisen od povečanja mišične mase (54).

### **Ekscentrična vadba**

Ekscentrična obremenitev bi naj bila najbolj učinkovit dražljaj za mišično rast (55). Med ekscentrično obremenitvijo so sile v mišici velike, hkrati pa pride do njenega raztezanja, kar povzroči znotrajcelične poškodbe kontraktilnih in strukturnih komponent mišice, ki sprožijo hipertrofični odziv mišice (56). V primerjavi s koncentrično obremenitvijo, pri kateri je hipertrofični učinek največji v srednjem delu mišice, je učinek ekscentrične vadbe večji

na njenem distalnem delu (57). Izvedba vaj v amplitudah v sklepu, ki ustrezajo bolj raztegnjeni mišici, je bolj učinkovita kot vadba pri skrajšani mišici. Poleg debelitve mišice ekscentrična vadba podaljša fascikle, kar nakazuje na povečano število sarkomer v zaporedju (58). Njeni učinki so bolj opazni pri hitrih mišičnih vlaknih (59).

Ekscentrično vadbo je mogoče izvesti na več načinov. Nekateri izhajajo iz vadbe za moč, drugi iz vadbe za vzdržljivost. Pri ekscentričnih obremenitvah pri vadbi za moč so bremena velika (> 85% 1-RM) ali supramaksimalna (> 1-RM). Ne glede na velikost bremena je odziv na vadbo pri netreniranih osebah podoben. Trajanje ekscentričnega naprežanja naj bo daljše od ene sekunde in krajše od pet sekund, običajno okoli dve sekundi (60). Na vadbeni enoti se izvede 3–5 serij, v vsaki seriji pa 8–10 ponovitev. Odmor med serijami traja eno minuto. V enem tednu je mišica obremenjena trikrat.

Ekscentrična vadba, izvedena na način vadbe za vzdržljivost, vključuje veliko število ponovitev in je določena s trajanjem. Za iztegovalke nog je lahko izvedena v obli-

**Tabela 1.** Metode vadbe za moč za povečanje mišične mase (17). 1-RM – enkratna maksimalna ponovitev (angl. *one repetition maximum*). X označuje način izvajanja ponovitev.

	<b>Standardna metoda 1</b>	<b>Standardna metoda 2</b>	<b>Ekstenzivna bodybuilding metoda</b>	<b>Intenzivna bodybuilding metoda</b>
Naprežanje				
• koncentrično	X	X	X	X
• ekscentrično				
• izometrično				
Tempo				
• eksplozivno	X	X	X	X
• tekoče				
Breme (% 1-RM)	80	70 80 85 90	60–70	85–95
Ponovitve	8–12	12 10 7 5	15–18	5–8
Serije	3–5	1. 2. 3. 4.	3–5	3–5
Odmor (min)	1–2	3	1–2	3
Dodatno	do odpovedi	do odpovedi	do odpovedi	do odpovedi

ki hoje/teka po klancu ali stopnicah navzdol ali kot negativno kolesarjenje. Za sledenje je potrebno posebno kolo z elektromotorjem, ki vrtilni pedala v nasprotni smeri poganjanja, naloga vadečega pa je, da se temu upira. Tovrstna vadba se uveljavlja predvsem v rehabilitaciji, npr. po rekonstrukciji prednjega križnega ligamenta in pri osebah s kroničnimi nenalezljivimi boleznimi (61–63). Zanimiva je tudi za starejše in krhke osebe. Neprekinjeno kolesarjenje traja do 30 minut. Intenzivnost lahko določimo s pomočjo Borgove lestvice občutenja navora (npr. 15 od 20), deležem maksimalne moči pedaliranja (60%) ali s pomočjo frekvence srčnega utripa (60% rezerve frekvence srčnega utripa). Hitrost pedaliranja je pogosto izbrana na ravni posameznika in je običajno 20–40 obratov na minuto. Pogostost vadbe je trikrat tedensko.

Poleg pozitivnih učinkov na rast mišice ima lahko ekscentrična vadba tudi negativne učinke (64). Lahko namreč povzroča mikropoškodbe, bolečine, zmanjšano vzdražnost živčnega sistema in mišično oslabeledost. Z vidika aktivacije se lahko pojavijo neenakomerna mišična aktivacija in drugačne mišične sinergije, ki lahko vodijo do porušenega mišičnega ravnovesja. Ravno tako lahko zmanjša refleksno odzivnost. Ti pojavi so praviloma prehodnega značaja in se pojavljajo predvsem na začetku ekscentrične vadbe. Zato je ekscentrično vadbo smiselno začeti z manjšimi obremenitvami in jih postopno večati do želeno ravni.

### **Krožna vadba**

Pri vadbi za moč se poleg vadbe po postajah kot način organizacije obremenitve uporablja tudi krožna vadba. Pri njej je značilno, da se vaje izvajajo v krogih (serijah). Krog pomeni, da se v njem izvedejo vse vaje po danem vrstnem redu. Temu sledi drugi in po potrebi še več krogov. Glavna razlika je v času odmora med dvema seri-

jama iste vaje. Pri krožni vadbi je odmor med serijami bistveno krajši in ne sledi fiziologiji večanja mišične mase. Zaradi dolgih odmorov med izvedbo iste vaje pri krožni vadbi je ta bistveno manj učinkovita za povečanje mišične mase. To velja za trenirane osebe. Pri netreniranih in dekonicioniranih osebah pa je lahko krožna vadba (vsaj na začetku) učinkovita tudi za povečanje mišične mase.

### **Vadba z omejitvijo krvnega pretoka**

Vadba z omejitvijo krvnega obtoka (VOKO) je vadba z delno ali popolno omejitvijo krvnega obtoka v delovnih mišicah med izvajanjem vadbe (65). Za omejitev krvnega obtoka se uporabljajo manšete, ki se jih namesti proksimalno okoli okončine, s katero se izvaja vajo. V uporabi so različne manšete (tako glede materialov, tehničnih izvedb, širine in tlaka na mišico) (66). VOKO učinkovito poveča moč in mišično maso tako pri zdravih mladih in starih osebah kot tudi pri rehabilitaciji (67, 68). Posebnost te metode je uporaba manjših bremen (20–40% 1-RM) v primerjavi z večjimi (60–80% 1-RM) pri običajni vadbi za moč. Spremembe v mišični masi so opazne že po 1–3 tednih (69).

Čeprav obstajajo zadržki pri uporabi VOKO glede varnosti, se je pri osebah s srčnimi boleznimi ta vadba pokazala za varno in učinkovito, tudi pri koronarnih bolnikih (66, 70). Po uporabi VOKO ni bilo opaziti klinično pomembnega povečanja tveganja za nastanek venske tromboze, povečanega oksidativnega stresa ali mišične poškodbe. Tveganje za rabdomiolizo je zelo nizko (71).

Poleg vadbe se omejitve krvnega obtoka uporablja tudi pri pasivni mišici (71). Tak pristop zmanjša pojav atrofije mišic zaradi daljšega ležanja v postelji (72). Omejitve krvnega obtoka v pasivni mišici se izvede enkrat ali dvakrat dnevno, in sicer trikrat do štirikrat s petminutno omejitvijo obtoka in triminutnim odmorom.

## Vadba za gibljivost

Ena od posledic vadbe za moč je skrajšanje mišice. Zato je vadba za gibljivost sistematično vključena v programe vadbe za moč. Ali lahko tudi samostojna vadba za gibljivost vpliva na rast mišične mase? Živalski modeli kažejo, da je z imobilizacijo mogoče spremeniti dolžino mišice v obe smeri, jo podaljšati ali skrajšati, in da se to zgodi zaradi spremenjenega števila sarkomer v zaporedju (73). Imobilizacija v skrajšani dolžini zmanjša število sarkomer v zaporedju, v podaljšani dolžini pa poveča njihovo število. Vsakodnevno 30-minutno raztezanje mišice, imobilizirane v skrajšani dolžini, prepreči krajšanje mišice (74).

Klasično statično pasivno raztezanje ima majhen vpliv na povečevanje števila sarkomer v zaporedju. Raziskave, ki so uporabljale zelo intenzivno raztezanje (s pomočjo naprav za raztezanje), so pokazale večji učinek raztezanja na rast mišice kot tiste z uporabo klasičnih razteznih vaj (75).

Dolgotrajno nizkointenzivno raztezanje (imobilizacija pri večji dolžini mišice) učinkovito poveča število sarkomer v zaporedju (73). Pri tem gre za večdnevna ali večtedenska neprekinjena raztezanja, ki jih pri zdravih osebah oz. osebah brez indikacije za imobilizacijo ni mogoče uporabiti. Zato ostaja neodgovorjeno vprašanje, ali bi vsakodnevna dolgotrajna (> 15 minut) nizkointenzivna raztezanja imela podoben učinek kot imobilizacija? Ali bi bilo za rast mišice v dolžino učinkovito uporabiti imobilizacijo v času, ki ga preživljamo pasivno (npr. spanje ali gledanje televizije)?

### **Povezovanje vadbe za moč in vadbe za gibljivost**

Klasične metode raztezanja brez prisotnosti vadbe za moč praviloma nimajo pomembnega vpliva na hipertrofijo mišice (76). Za kombinacijo vadbe za moč in vadbe za raz-

tezanje, ki ju izvajamo na isti vadbeni enoti, se zdi zelo pomembno, v kakšnem časovnem zaporedju sta bili vadbi izvedeni. Raztezanje, izvedeno neposredno pred vadbo za hipertrofijo, zmanjša njene učinke (77). Drugače je z uporabo raztezanja med serijami vadbe za moč, saj je vadbeni skupina, ki je izvajala 30 sekund statičnega raztezanje v odmoru med dvema serijama v večji meri povečala mišično maso kot skupina, ki raztezanja ni izvajala (78). Pri tem je pomembno, da se raztezanje med serijami izvede na ustrezen način (79). Intenzivnost raztezanja mora biti dovolj velika (8 na lestvici 1–10). Dodatno raztezanje različno vpliva na tipa mišičnih vlaken. Zdi se, da raztezanje med serijami vadbe za moč v večji meri vpliva na rast mišičnih vlaken tipa I kot tipa II. Poleg vplivanja na dolžino mišice vadba za gibljivost v povezavi z vadbo za moč poveča učinke vadbe za moč na povečanje mišične mase (80).

## ZAKLJUČEK

Povečanje mišične mase sprožijo ustrezni mehanski in presnovni pogoji, ki jih ustvari mišična obremenitev. Ti se lahko razlikujejo glede na stanje mišice. Pri netreniranih in dekondicioniranih mišicah zadošča že malo povečana obremenitev (pogosto nespecifična z vidika povečanja mišične mase), da sproži anabolni odziv. Za nadaljnje povečanje treniranih mišic je potrebna vedno bolj specifična obremenitev. Zato se lahko obremenitve, ki sprožajo rast mišične mase, glede na stopnjo treniranosti močno razlikujejo. Vendar to ni edini dejavnik, ki vpliva na izbiro obremenitve. Pri izbiri obremenitve (in vaj) je treba upoštevati tudi psihološke in družbene vidike vadbe. Njihova vloga se kaže predvsem pri doslednem izvajanju in vztrajanju pri vadbi. Šele na tak način postane vadba zares učinkovita.

## LITERATURA

1. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, et al. Resistance training load effects on muscle hypertrophy and strength gain: Systematic review and network meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2021; 53 (6): 1206–16.
2. Lee EJ, Neppel RL. Influence of age on skeletal muscle hypertrophy and atrophy signaling: established paradigms and unexpected links. *Genes*. 2021; 12 (5): 688.
3. Legerlotz K, Marzilger R, Bohm S, et al. physiological adaptations following resistance training in youth athletes – A narrative review. *Pediatr Exerc Sci*. 2016; 28 (4): 501–20.
4. Vingren JL, Kraemer W J, Ratamess NA, et al. Testosterone physiology in resistance exercise and training: The up-stream regulatory elements. *Sports Med (Auckland, N.Z.)*. 2010; 40 (12): 1037–53.
5. Ogborn D, Schoenfeld BJ. The role of fiber types in muscle hypertrophy: Implications for loading strategies. *Strength Cond J*. 2014; 36 (2): 20–5.
6. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*. 2010; 24 (10): 2857–72.
7. Toigo M, Boutellier U. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 97 (6): 643–63.
8. Hill M, Goldspink G. Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle is associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. *J Physiol*. 2003; 549 (Pt 2): 409–18.
9. Vierck J, O'Reilly B, Hossner K, et al. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int*. 2000; 24 (5): 263–72.
10. Spangenburg EE. Changes in muscle mass with mechanical load: Possible cellular mechanisms. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009; 34 (3): 328–35.
11. Iida K, Itoh E, Kim DS, et al. Muscle mechano growth factor is preferentially induced by growth hormone in growth hormone-deficient lit/lit mice. *J Physiol*. 2004; 560 (Pt 2): 341–9.
12. Hansen S, Kvorning T, Kjaer M, et al. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: The importance of physiologically elevated hormone levels. *Scan J Med Sci Sport*. 2001; 11 (6): 347–54.
13. Sjøgaard G. Water and electrolyte fluxes during exercise and their relation to muscle fatigue. *Acta Physiol Scan Suppl*. 1986; 556: 129–36.
14. Sjøgaard G, Adams RP, and Saltin B. Water and ion shifts in skeletal muscle of humans with intense dynamic knee extension. *Am J Physiol*. 1985; 248 (2 Pt 2): R190–6.
15. Chan ST, Johnson AW, Moore MH, et al. Early weight gain and glycogen-obligated water during nutritional rehabilitation. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1982; 36 (3): 223–32.
16. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, et al. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol*. 2000; 88 (6): 2097–106.
17. Schmidtbleicher D. Motorische Beanspruchungsform Kraft. *Dt Zschr Sportmed*. 1987; 38 (9): 356–77.
18. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*. 2000; 88 (1): 61–5.
19. Prado LG, Makarenko I, Andresen C, et al. Isoform diversity of giant proteins in relation to passive and active contractile properties of rabbit skeletal muscles. *J Gen Physiol*. 2005; 126 (5): 461–80.
20. Rack PM, Westbury DR. The short range stiffness of active mammalian muscle and its effect on mechanical properties. *J Physiol*. 1974; 240 (2): 331–50.
21. Hill M, Goldspink G. Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle is associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. *J Physiol*. 2003; 549 (2): 409–18.
22. Allen DG, Whitehead NP, Yeung EW. Mechanisms of stretch-induced muscle damage in normal and dystrophic muscle: Role of ionic changes. *J Physiol*. 2005; 567 (3): 723–35.
23. Murach KA, Dungan CM, Peterson CA. Muscle fiber splitting is a physiological response to extreme loading in animals. *Exerc Sport Sci Rev*. 2019; 47 (2): 108–15.
24. Smith RC, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995; 71 (4): 332–6.
25. Schott J, McCully K, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. II. Short versus long isometric contractions. *Eur J Appl Physiol*. 1995; 71 (4): 337–41.
26. Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, et al. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol*. 1998; 77 (2): 189–91.
27. Folland JP, Irish CS, Roberts JC, et al. Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *Br J Sports Med*. 2002; 36 (5): 370–3.

28. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1986; 55 (4): 362–6.
29. Goto K, Ishii N, Kizuka T, et al. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sport Exerc*. 2005; 37 (6): 955–63.
30. 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; 16 (24): 4897.
31. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, et al. Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. *Sports (Basel)*. 2021; 9 (2): 32.
32. Fisher JP, Steele J. Heavier and lighter load resistance training to momentary failure produce similar increases in strength with differing degrees of discomfort. *Muscle Nerve*. 2017; 56 (4): 797–803.
33. Willardson JM. The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res*. 2007; 21 (2): 628–31.
34. Kraemer WJ, Häkkinen K, Newton RU, et al. Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol (1985)*. 1999; 87 (3): 982–92.
35. Linnamo V, Pakarinen A, Komi PV, et al. Acute hormonal responses to submaximal and maximal high intensity resistance and explosive exercise in men and women. *J Strength Cond Res*. 2005; 19 (3): 566–71.
36. Smilios I, Piliianidis T, Karamouzis M, et al. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sport Exerc*. 2003; 35 (4): 644–54.
37. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci*. 2017; 35 (11): 1073–82.
38. Nardone A, Schieppati M. Shift of activity from slow to fast muscle during voluntary lengthening contractions of the triceps surae muscles in humans. *J Physiol*. 1988; 395: 363–381.
39. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol*. 1990; 69 (4): 1442–50.
40. Willardson JM. A brief review: Factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets. *J Strength Cond Res*. 2006; 20 (4): 978–84.
41. Stull GA, Clarke DH. Patterns of recovery following isometric and isotonic strength decrement. *Med Sci Sports*. 1971; 3 (3): 135–9.
42. Halson SL, Jeukendrup AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sport Med*. 2004; 34 (14): 967–81.
43. Nogueira W, Gentil P, Mello SN, et al. Effects of power training on muscle thickness of older men. *Int J Sport Med*. 2009; 30 (3): 200–4.
44. Keeler LK, Finkelstein LH, Miller W, et al. Early-phase adaptations of traditional-speed vs. SuperSlow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J Strength Cond Res*. 2001; 15 (3): 309–14.
45. Garg C. Effects of isotonic (dynamic constant external resistance) eccentric strength training at various speeds on concentric and isometric strength of quadriceps muscle. *Ind J Physiother Occup Ther*. 2009; 3 (3): 24–30.
46. Schoenfeld BJ, Ogborn DI, Vigotsky AD, et al. hypertrophic effects of concentric vs. eccentric muscle actions: A systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res*. 2017; 31 (9): 2599–608.
47. Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, et al. Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive- vs. sustained-contraction strength training. *J Appl Physiol (1985)*. 2016; 120 (11): 1364–73.
48. Hansen S, Kvorning T, Kjaer M, et al. The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: The importance of physiologically elevated hormone levels. *Scan J Med Sci Sport*. 2001; 11 (6): 347–54.
49. Stoppani J. *Encyclopedia of muscle and strength*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 2006. p. 151.
50. Anderson KG, Behm DG. Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J Strength Cond Res*. 2004; 18 (3): 637–40.
51. Anderson KG, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol*. 2005; 30 (1): 33–45.
52. Vera-García FJ, Grenier SG, McGill S. Abdominal muscle response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Phys Ther*. 2000; 80 (6): 564–9.
53. Bernárdez-Vázquez R, Raya-González J, Castillo D, et al. Resistance training variables for optimization of muscle hypertrophy: An umbrella review. *Front Sports Act Living*. 2022; 4: 949021.
54. Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*. 1979; 58 (3): 115–30.

55. Hornberger TA, Chien S. Mechanical stimuli and nutrients regulate rapamycin-sensitive signaling through distinct mechanisms in skeletal muscle. *J Cell Biochem.* 2006; 97 (6): 1207–16.
56. Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med.* 2007; 37 (9): 737–63.
57. Schoenfeld BJ, Grgic J, Haun C, et al. Calculating set-volume for the limb muscles with the performance of multi-joint exercises: Implications for resistance training prescription. *Sports (Basel).* 2019; 7 (7): 177.
58. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, et al. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016; 48 (3): 499–508.
59. Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M., et al. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2006; 38 (10): 1770–81.
60. Suchomel TJ, Wagle JP, Douglas J, et al. Implementing eccentric resistance training-Part 1: A Brief review of existing methods. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2019; 4 (2): 38.
61. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, et al. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: A 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2009; 89 (1): 51–9.
62. MacMillan NJ, Kapchinsky S, Konokhova Y, et al. Eccentric ergometer training promotes locomotor muscle strength but not mitochondrial adaptation in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Front Physiol.* 2017; 8: 114.
63. Rocha Vieira DS, Baril J, Richard R, et al. Eccentric cycle exercise in severe COPD: Feasibility of application. *COPD.* 2011; 8 (4): 270–4.
64. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and neural adaptations to eccentric exercise: Mechanisms and considerations for training. *Biomed Res Int.* 2015; 2015: 193741.
65. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, et al. Exercise with blood flow restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2015; 45 (3): 313–25.
66. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. Blood flow restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol.* 2019; 10: 533.
67. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018; 48 (2): 361–78.
68. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, et al. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017; 51 (13): 1003–11.
69. Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol.* 2012; 590 (17): 4351–61.
70. Kambič T, Novaković M, Tomažin K, et al. Hemodynamic and hemostatic response to blood flow restriction resistance exercise in coronary artery disease: A pilot randomized controlled trial. *J Cardiovasc Nurs.* 2021; 36 (5): 507–16.
71. Thompson KMA, Slysz JT, Burr JF. Risks of exertional rhabdomyolysis with blood flow-restricted training: Beyond the case report. *Clin J Sport Med.* 2018; 28 (6): 491–2.
72. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32 (12): 2035–9.
73. Williams PE, Goldspink G. The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres. *J Anat.* 1973; 116 (Pt 1): 45–55.
74. Williams PE. Use of intermittent stretch in the prevention of serial sarcomere loss in immobilised muscle. *Ann Rheum Dis.* 1990; 49 (5): 316–7.
75. Kruse A, Rivares C, Weide G, et al. Stimuli for adaptations in muscle length and the length range of active force exertion-A narrative review. *Front Physiol.* 2021; 12: 742034.
76. Yahata K, Konrad A, Sato S, et al. Effects of a high-volume static stretching programme on plantar-flexor muscle strength and architecture. *Eur J Appl Physiol.* 2021; 121 (4): 1159–66.
77. Junior RM, Berton R, de Souza TM, et al. Effect of the flexibility training performed immediately before resistance training on muscle hypertrophy, maximum strength and flexibility. *Eur J Appl Physiol.* 2017; 117 (4): 767–74.
78. Evangelista AL, De Souza EO, Moreira DCB, et al. Interset stretching vs. traditional strength training: effects on muscle strength and size in untrained individuals. *J Strength Cond Res.* 2019; 33 (Suppl 1): 159–66.
79. Schoenfeld BJ, Wackerhage H, De Souza E. Inter-set stretch: A potential time-efficient strategy for enhancing skeletal muscle adaptations. *Front Sports Act Living.* 2022; 4: 1035190.
80. Van Every DW, Coleman M, Rosa A, et al. Loaded inter-set stretch may selectively enhance muscular adaptations of the plantar flexors. *PLoS One.* 2022; 17 (9): e0273451.