

## **Učinek 4-tedenske nizko intenzivne ishemične vadbe mišic ekstenzorjev kolena na srčnožilne odzive**

Alan Kacin

Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

### **IZVLEČEK**

Vadba proti uporabi med umetno povzročeno žilno okluzijo nad aktivno mišico (ishemična vadba) lahko že pri uporabi lahkega vadbene bremena (~20% 1 RM) sproži znaten hipertrofičen odziv mišic. To lastnost bi lahko s pridom uporabili za preprečevanje in zdravljenje mišične atrofije, ki nastane po poškodbah ali operativnem posegu na sklepu zaradi razbremenjevanja uda. Vendar ima ishemična vadba lahko tudi potencialno nevarne stranske učinke, saj aktivacija mišičnega metaborefleksa lahko izzove izrazito povišanje frekvence srčnega utripa ( $f_{SU}$ ) in arterijskih tlakov (AKT) med vadbo. Namen raziskave je bil ugotoviti ali akutna in kronična izpostavitve ishemični vadbi z lahkim bremenom lahko izzove rizičen srčnožilni odziv. Deset zdravih prostovoljcev (starost: 21-27 let) je bilo podvrženih 4-tedenski eksperimentalni vadbi mišic ekstenzorjev kolena z lahkim bremenom (~15% 1RM). En spodnji ud so preiskovanci vadili v normalnih pogojih (Kontrolni ud), drugi spodnji ud pa z delno arterijsko okluzijo povzročeno z napihljivo manšeto (Ishemični ud). Pred in po obdobju vadbe smo neinvazivno izmerili odziv AKT in  $f_{SU}$  med testom maksimalnega števila dvigov bremena do hotene odpovedi. Test smo izvedli dvakrat; enkrat z arterijsko okluzijo (Ishemični test) in enkrat brez okluzije (Kontrolni test). Povprečna (SD) najvišja  $f_{SU}$  med Kontrolnim testom je bila 139 (20)  $s^{-1}$  pred vadbo in 155 (21)  $s^{-1}$  po vadbi; med Ishemičnim testom pa 136 (23)  $s^{-1}$  pred vadbo in 144 (17)  $s^{-1}$  po njej.  $f_{SU}$  je bila značilno višja ( $P < 0,001$ ) med Kontrolnim testom po vadbi. Srednji AKT dosežen ob koncu Kontrolnega testa pred vadbo je bil 150 (26) mmHg in 157 (15) mmHg po vadbi; med Ishemičnim testom pa 144 (20) mmHg pred vadbo in 146 (13) mmHg po njej. Srednji AKT je bil značilno višji ( $P < 0,05$ ) med Kontrolnim testom po vadbi. Rezultati raziskave kažejo, da obremenitev srčnožilnega sistema med ishemično vadbo z lahkim bremenom ni višja kot med enako vadbo ishemije. Nasprotno, nekoliko nižje vrednosti  $f_{SU}$  in srednjega arterijskega tlaka dosežene med Ishemičnim testom so verjetno posledica krajšega trajanja mišične aktivacije zaradi hitrejšega naraščanja občutka neugodja v mišici in zgodnejše mišične odpovedi.

### **IZHODIŠČA**

Zmanjšana raba mišic pred in po operativnem posegu na poškodovanem kolenskem sklepu izzove atrofijo vseh mišic spodnjega uda, predvsem pa mišice quadriceps femuris. Zaradi nevarnosti, da z izvajanjem vaj v zgodnjem obdobju po operaciji kolenskega sklepa preobremenimo in poškodujemo rekonstruirane sklepne strukture (7), so dinamične vaje

proti uporabi izvzete iz večini fizioterapevtskih protokolov. Namesto njih se izvajajo le izometrične vaje za mišico quadriceps, kot je na primer dvigovanje noge z iztegnjenim kolenom in elektrostimulacija (6; 8), vendar je pri tem intenziteta mišičnih kontrakcij prenizka, da bi spodbudila mišično hipertrofijo in povečanje mišične moči (3). Pooperativna izguba mišične mase je torej v veliki meri neizbežna posledica razbremenjevanja potrebnega za optimalno celjenje vezivno tkivnih sklepnih struktur. Razvoj fizioterapevtske metode, ki bi sprožila hipertrofijo in prirast mišične zmogljivosti ter obenem omogočala varno celjenje sklepnih struktur, bi močno izboljšala možnosti za hitro in učinkovito rehabilitacijo.

### **Ishemična vadba – mišična hipertrofija brez mehanske (nad)obremenitve?**

Glede na splošno sprejeto hipotezo o nujnosti mehanske obremenitve mišičnega tkiva za doseganje hipertrofije z vsaj 70% teže bremena, ki ga je mišica sposobna enkrat dvigniti skozi celoten obseg giba (ang. »one repetition maximum«; 1RM), se zdi, da je mišična atrofija pri razbremenjevanju poškodovanega sklepa neizbežna posledica zdravljenja. Vendar obstaja vrsta raziskav, ki kažejo, da z zmanjšanim pretokom krvi skozi aktivne mišice med vadbo proti uporabi z majhnimi bremenami (ishemična vadba) lahko izzovemo izrazit prirastek mišične mase, medtem ko vadba enake intenzitete brez oviranega toka krvi nima nobenega učinka (2; 33; 34; 37). To se v veliki meri pripisuje povečani tvorbi rastnega hormona po ishemični vadbi (1; 30), ki je primerljiva s koncentracijami rastnega hormona po visoko intenzivni vadbi proti uporabi (21). Spremembe v celičnem metabolizmu bi torej lahko bile pomemben sprožilni dejavnik mišične hipertrofije tudi v odsotnosti izrazito povečane mehanske obremenitve tkiva. Vadba proti uporabi z zmanjšanim pretokom krvi skozi mišico namreč pospeši izčrpanje visoko energetskih fosfo-kreatinskih molekul in kopičenje laktata v primerjavi z vadbo enake intenzitete, a normalnim krvnim pretokom (36). Kot kaže v tem procesu pomembno vlogo igrajo metabolne signalne molekule, kot je na primer AMP-odvisna kreatin kinaza (5). Druga možna razlaga je, da med ishemično vadbo pride do spremembe v zaporedju aktivacije motoričnih enot v korist večjih, pretežno anaerobnih motoričnih enot. Povečane amplitude EMG signala med ishemično vadbo govorijo v prid tej hipotezi (29-31). Zanimivo je, da rezultati nekaterih podobnih raziskav kažejo ravno nasprotno; nizko intenzivna ishemična vadba naj bi bila ekstremna oblika vadbe za vzdržljivost, ki povzroči povečan delež mišičnih vlaken tipa I, več glikogenskih zalog ter gostejšo kapilarno mrežo in s tem povečano oksidativno kapaciteto mišice (10; 11; 18; 28). Primerjava med raziskavami z nasprotujočimi se rezultati je problematična z več vidikov, saj so bili uporabljeni zelo različni protokoli vadbe in stopnje ishemije.

Poleg nejasnosti glede dejanskih fizioloških mehanizmov adaptacije mišice na ishemično vadbo, pa je z vidika možnosti njene rutinske uporabe v klinični praksi enako vprašljiva varnost. Kompresija tkiva pod napihljivo manšeto, s katero med vadbo oviramo krvni pretok, namreč povzroči turbulentni tok krvi v žilah, ki v kombinaciji z mišičnimi kontrakcijami lahko poškoduje endotelij žil. To sta dva od treh rizičnih dejavnikov Virchowove triade, ki bi lahko sprožila nastanek krvnih strdkov in trombembolije med ishemično vadbo (23). Rezultati edine populacijske študije o neželenih stranskih učinkih ishemične vadbe, ki je bila opravljena na Japonskem (25), sicer kažejo, da je incidenca trombembolije izjemno nizka (0,55%). Vsekakor so potrebne dodatne raziskave na večjih in bolj heterogenih populacijskih vzorcih. Druga potencialna nevarnost za zdravje z uporabo tovrstne vadbe pa je, da ishemija povzročena s prekinitvijo krvnega pretoka skozi mirujočo ali aktivno mišico sproži refleksno povečano simpatično aktivacijo in ojačan srčnožilni odziv, kar se odraža predvsem v povišanem arterijskem krvnem tlaku.

### **Vpliv mišičnih refleksov na srčnožilne odzive**

Med mišično aktivnostjo se sprožijo refleksne prilagoditve regulacije srčnožilnih odzivov, ki jih imenujemo tudi vadbeni refleksi, ergorefleksi, mišični kemorefleksi ali metaborefleksi in mišični mehanorefleksi. Refleksno zanko sproži povečano vzdraženje prostih živčnih končičev tipa III (mielinizirana vlakna) in tipa IV (nemielinizirana C vlakna) v skeletni mišici, ki so občutljivi na kemične, mehanske in termične dražljaje. Njihova aktivacija sproži povečanje arterijskega tlaka in s tem perfuzijskega tlaka v aktivni mišici, čemur pravimo tlačni odziv na vadbo (ang. »exercise pressor response«). Glede na polimodalnost prostih živčnih končičev tipa III in IV je skoraj nemogoče ločiti pomen posameznih dražljajev za nastanek tlačnega odziva na vadbo *in vivo*. Predvideva se, da akumulacija metabolnih produktov v mišici igra ključno vlogo. Koncept metaborefleksa, ki centralnem živčevju sporoča neskladje med prekrvavitvijo mišice in odplavljanjem metabolnih produktov, sta opisala že Alam in Smirk (4). Pokazala sta, da metabolni produkti ujeti v mišici med arterijsko okluzijo nameščeno takoj po končani mišični aktivnosti, povzročijo znaten dvig v srednjem arterijskem tlaku, kljub odsotnosti mehanskih dražljajev in vnaprejšnje aktivacije regulatornih mehanizmov s strani nadzornih živčnih centrov (ang. »feed forward central command«). Poleg metaborefleksa, ki je očitno predvsem med arterijsko okluzijo po aktivaciji mišice, se med mišično aktivnostjo živčni končiči tipa III in IV vzdražijo tudi zaradi mehanskih dražljajev zaradi raztezanja in kompresije mišičnih vlaken, kar imenujemo mehanorefleks. Eferentni refleksni odziv je tudi v tem primeru predvsem zvišanje krvnega tlaka, a tudi srčne frekvence (27). Glede na funkcijo se polimodalni prosti živčni končiči v mišici arbitrarno delijo v ergoreceptorje in nociceptorje. Bistvena razlika naj bi bila, da so ergoreceptorji občutljivi na nebolečinske dražljaje, medtem ko nociceptorji reagirajo le na boleče mehanske ali kemične dražljaje. Ker se aktivacija ~ 40% aferentnih živčnih vlaken tipa III stopnjuje sorazmerno s silo mišične kontrakcije, jih lahko opredelimo kot prave ergoreceptorje (19; 20). Pogosto zanemarjeno je tudi dejstvo, da so prosti živčni končiči tipa III občutljivi tudi na termične dražljaje, saj se njihova vzdražnost v območju 24 do 44°C poveča za 50% (24). Ker se zaradi povečane metabolne aktivnosti mišična temperatura med vadbo hitro in izrazito poveča, bi ovirano odvajanje toplote iz mišice med ishemično vadbo lahko igralo pomembno vlogo. Poleg tega je bilo pokazano, da se občutljivost prostih živčnih končičev tipa II in IV na določeno vrsto dražljaja povečuje s prisotnostjo preostali dražljajev (26).

Namen raziskave je bil torej ugotoviti ali vadba proti uporabi z majhnim bremenom (~15% sile MVC) in zmanjšanim pretokom krvi skozi aktivne mišice izzove večji dvig arterijskega krvnega tlaka in srčne frekvence kot enaka vadba z nemotenim mišičnim pretokom krvi.

## **METODE**

### **Ključni elementi raziskave**

Komisija Republike Slovenije za medicinsko etiko je dala soglasje k raziskavi (131bis/04/07). Zdravi prostovoljci so bili podvrženih štiri tedenski eksperimentalni vadbi mišic ekstenzorjev kolena z lahkim bremenom (~15% sile MVC). En spodnji ud so preiskovanci vadili z arterijsko okluzijo povzročeno z napihljivo manšeto (tlak  $\geq 230$  mmHg) v ingvinalnem predelu do hotene odpovedi (Ishemični ud), z drugim spodnjim udom pa so izvedli enako število ponovitev vendar brez omejitve krvnega pretoka (Kontrolni ud). Pred in po obdobju vadbe smo ocenili mišično zmogljivost in neinvazivno izmerili odziv arterijskih tlakov in frekvence srčnega utripa ( $f_{SU}$ ) med dinamično mišično

aktivnostjo ekstenzije kolena proti uporabi do hotene odpovedi. Test so preiskovanci izvedli dvakrat; enkrat z arterijsko okluzijo (Ishemični test) in enkrat brez okluzije (Kontrolni test). Med raziskavo so preiskovanci uživali normalno mešano hrano. Kot dopolnilo k redni prehrani so zaužili tudi 0,6 g proteinov na 1 kg telesne teže dnevno v obliki prehranskega dodatka na osnovi mlečnega kazeina (The Casein, T.H.E. Nutrition d.o.o., Slovenija). Preiskovanci so ohranili nespremenjen obseg ostale telesne dejavnosti tekom raziskave.

### **Preiskovanci**

V raziskavi so sodelovali mlajši moški prostovoljci, ki smo jih izbrali na podlagi njihovega zdravstvenega statusa. Deset moških preiskovancev (starost:  $22.5 \pm 0.6$  let, tel. masa:  $76.7 \pm 3.1$  kg, tel. višina  $180.6 \pm 2.0$  cm) je podalo pisno soglasje k raziskavi. Izključitveni kriteriji so bili: kajenje, zgodovina srčnožilnih, nevroloških in ortopedskih bolezni, hipertenzija, sladkorna bolezen, težave z strjevanjem krvi in poškodbe hrbtenice ter spodnjih udov.

### **Eksperimentalni protokol**

#### *Obdobje seznanjanja*

Z namenom minimizirati začetni učinek učenja na izvedbo testov in merjene vrednosti mišične zmogljivosti je bil vsak preiskovanec predhodno temeljito seznanjen z vsemi elementi eksperimentalnega protokola. Tridnevno obdobje seznanjanja se je zaključilo teden pred pričetkom eksperimenta. Med obdobjem seznanjanja smo posebno pozornost posvetili pravilni tehniki in ritmu dviganja uteži ter učenju maksimalne izometrične kontrakcije mišice quadriceps. Poleg tega so bili preiskovanci seznanjeni z načinom aplikacije napihljivih manšet in občutkom neugodja v mišici med ishemično vadbo.

#### *Merjenje sile maksimalne hotene kontrakcije*

Maksimalno silo izometrične kontrakcije (sila MVC) mišice quadriceps femuris smo izmerili z linearnim silomerom (tip LT1-A1, DS Europe Slr., Italija) vstavljenim v prenosno jeklenico trenžerja za izteg kolena (Sokol Gym, Slovenija). Preiskovanec je sedel s kolki in testiranim kolonom v  $90^\circ$  fleksije. Os kolenskega sklepa je bila vizualno poravnana z osjo ročice trenažerja, golen in gleženj pa sta bila pričvrščena ob oporo ročice trenažerja z elastičnim trakom. Položaj sedežne opore in dolžina ročice trenažerja sta bila prilagojena individualni dolžini stegna in goleni in se nista spreminjali tekom raziskave. Enake nastavitve trenažerja smo uporabili za test sile MVC in dinamične teste vzdržljivosti. Stabilizacija zgornjega dela telesa in medenice je bila zagotovljena z ne-elastičnimi pasovi nameščenimi prek prsnega koša in medenice. Pred izvedbo testa je posameznik izvedel raztezne vaje za vse mišice kolenskega sklepa in kolka in izvedel 15 izotoničnih kontrakcij mišice quadriceps z minimalnim bremenom. Po 3-minutnem odmoru je preiskovanec izvedel maksimalno izometrično kontrakcijo mišice quadriceps in jo zadržal 4 sekunde. Med kontrakcijo je imel roke prekrižane na prsnem košu, brez premikov zgornjega dela telesa. Z vsako nogo je izvedel tri zaporedne poskuse ločene s 3-minutnim odmorom. Najvišja vrednost treh meritev je bila uporabljena za nadaljnje analize.

#### *Test mišične vzdržljivosti*

Preiskovanec je z levim in desnim spodnjim udom izvedel test ritmičnega iztegovanja kolena (koncentrična faza) in spuščanja v izhodiščni položaj (ekscentrična faza) do hotene odpovedi z bremenom enakim 15% sile MVC. Z vsako nogo je opravil en test z neovira-



Slika 1. Položaj preiskovanca med izvedbo Kontrolnega in Ishemičnega testa mišične vzdržljivosti.

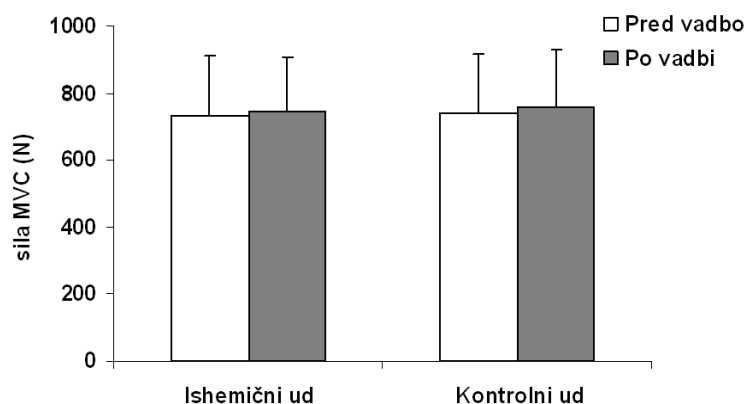
ranim krvnim pretokom skozi mišico (Kontrolni test) in en test z arterijsko okluzijo povzročeno z napihljivo manšeto (Ishemični test). Med testoma je bilo 48 ur premora. Med testom je preiskovanec ohranjal konstanten ritem 2 sekund za posamezen koncentrično-ekscentričen cikel, ki ga je zagotavljal metronom. Test se je začel z ogrevanjem mišice s 15 ponovitvami z minimalnim bremenom, nadaljeval z 2-minutnim odmorom in nadaljeval z ponavljajočim dvigovanjem bremena do hotene odpovedi. Med Ishemičnim testom smo 15 sekund pred pričetkom testa tlak v manšeti nameščeni v ingvinalnem predelu povečali na  $\geq 230$  mmHg. V kolikor je obseg giba med izvajanjem testa padel za več kot 1/3 polnega obsega giba, smo test prekinili pred hoteno odpovedjo. Polovica preiskovancev je testiranje najprej opravila z Ishemičnim udom, druga polovica pa s Kontrolnim udom.

#### *Merjenje arterijskih tlakov in frekvence srčnega utripa*

Frekvenco srčnega utripa smo kontinuirano merili s 3-kanalnim elektrokardiografom (ECG100C, Biopac Systems Inc., ZDA) 30 s pred pričetkom testa (mirovanje) in med testom. Ker je zanesljivost neinvazivnega merjenja diastoličnega arterijskega tlaka med telesno vadbo problematična (15), smo porast arterijskih tlakov izmerili v prvih 10 sekundah po prenehanju mišične aktivnosti z avtomatskim merilnikom krvnega tlaka (NIBP 100B, Biopac Systems Inc., CA, USA), katerega senzor je bil nameščen na zapestju leve roke. Za lažjo mišično relaksacijo zgornjega uda in preprečevanje gibanja med meritvijo, je bil levi zgornji ud pokrčen v komolcu za  $\sim 110^\circ$  in distalno od sredine nadlakti do konice prstov nameščen v opornico. Položaj senzora smo individualno nastavili v višino srca s pomočjo obese (slika 1).

#### **Statistična analiza**

Primerjava parov povprečji arterijskih tlakov in fSU med Ishemičnim udom in Kontrolnim udom s Studentovim t-testom za neodvisne vzorce ni pokazala značilnih razlik pred in po



Slika 2. Povprečna (SD) sila maksimalne izometrične hotene kontrakcije (MVC) mišic ekstenzorjev kolena v položaju 90° fleksije kolena pred in po obdobju eksperimentalne vadbe. Ishemični ud, spodnji ud, ki je vadil z arterijsko okluzijo; Kontrolni ud, spodnji ud, ki je vadil z neoviranim pretokom krvi skozi aktivne mišice.

obdobju vadbe, zato smo za primerjavo povprečji med Ishemičnim in Kontrolnim testom uporabili skupno povprečje vrednosti obeh spodnjih udov. Razlike povprečji sistoličnega, diastoličnega in srednjega krvnega tlaka smo nato testirali s faktorsko  $2 \times 2 \times 2$  (Ishemični test/Kontrolni test  $\times$  Pred-vadbo/Po-vadbi  $\times$  Mirovanje/Konec testa) ANOVA za ponovljene meritve. V primeru značilnega skupnega učinka, smo identificirali razliko med posameznimi pari povprečji s Tukey-evim HSD *post hoc* testom. V kolikor ni navedeno drugače, so vse izmerjene vrednosti navedene kot povprečja (standardna deviacija, SD). Prag statistične značilnosti je bil v vseh primerih pri  $P < 0,05$ . Statistična analiza je bila narejena z računalniškim programom Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 14.0.

## REZULTATI

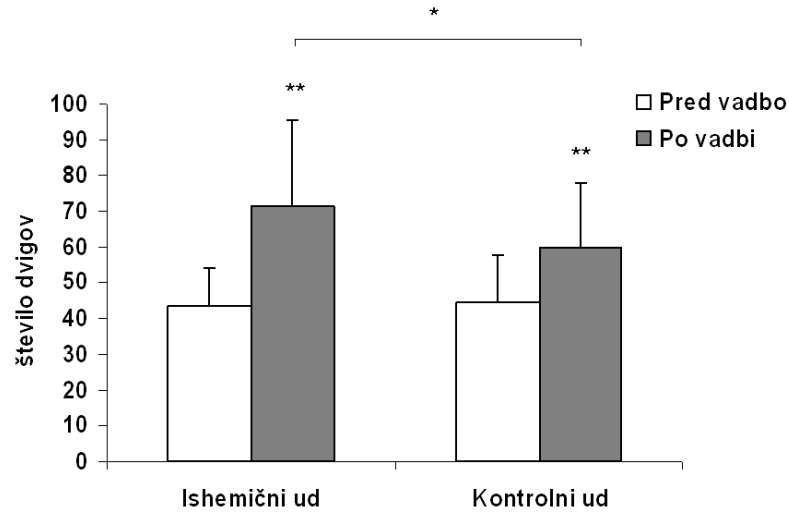
### Mišična zmogljivost

Pred obdobjem vadbe je bila sila MVC mišic ekstenzorjev kolena primerljiva na Ishemičnem in Kontrolnem spodnjem ud. Tudi po obdobju vadbe je sila MVC mišic obeh spodnjih udov ostala nespremenjena (slika 2). Število opravljenih dvigov med Kontrolnim testom se je po obdobju vadbe povečalo ( $P < 0,01$ ) za 63% na Ishemičnem ud in za 36% na Kontrolnem ud, zaradi česar je bila po obdobju vadbe opazna razlika ( $P < 0,05$ ) v opravljenem številu dvigov med udoma (slika 3).

Podobno, vendar v manjšem obsegu, se je po obdobju vadbe povečalo ( $P < 0,01$ ) tudi število dvigov izvedenih med Ishemičnim testom, in sicer 27% na Ishemičnem ud in 11% na Kontrolnem ud, zaradi česar je bila po obdobju vadbe opazna razlika ( $P < 0,05$ ) v opravljenem številu dvigov med udoma (slika 4).

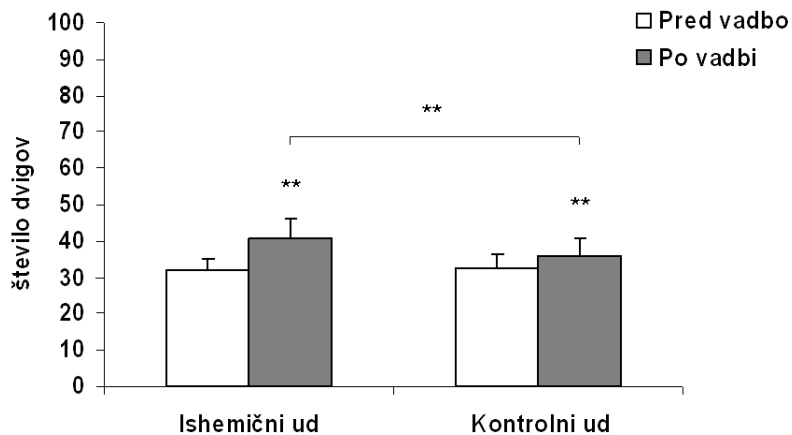
### Arterijski krvni tlaki

Vrednosti sistoličnega (SAP), diastoličnega (DAP) in srednjega (MAP) arterijskega tlaka v mirovanju pred izvedbo testov mišične vzdržljivosti se pred obdobjem vadbe niso značilno razlikovale. Po obdobju vadbe, so bile vrednosti SAP v mirovanju pred obema testoma primerljive z izhodiščnimi, medtem ko so se vrednosti DAP povišale ( $P < 0,05$ ) za 10% pred



Slika 3. Povprečno (SD) število opravljenih dvigov med Kontrolnim testom mišične vzdržljivosti pred in po obdobju eksperimentalne vadbe. Ishemični ud, spodnji ud, ki je vadil z arterijsko okluzijo; Kontrolni ud, spodnji ud, ki je vadil z neoviranim pretokom krvi skozi aktivne mišice. Znaka \* in \*\* označujeta značilno razliko pri  $P < 0,05$  in  $P < 0,01$ .

Kontrolnim testom in 9% pred Ishemičnim testom. To se je odrazilo tudi v 8% višjem MAP v mirovanju pred Kontrolnim testom po obdobju vadbe. Dvig arterijskih tlakov zaradi mišične aktivnosti ( $P < 0,001$ ) je bil primerljiv med testoma pred obdobjem vadbe, med tem ko je bil po obdobju vadbe izmerjen 6% večji ( $P < 0,05$ ) dvig DAP med Kontrolnim testom. Vrednosti dosežene med Ishemičnim testom so bile primerljive vrednostim doseženim pred obdobjem vadbe. Posledično je bil dvig vseh treh tlakov med Kontrolnim testom višji ( $P < 0,01$ ) za 8% (tabela 1).



Slika 4. Povprečno (SD) število opravljenih dvigov med Ishemičnim testom mišične vzdržljivosti pred in po obdobju eksperimentalne vadbe. Ishemični ud, spodnji ud, ki je vadil z arterijsko okluzijo; Kontrolni ud, spodnji ud, ki je vadil z neoviranim pretokom krvi skozi aktivne mišice. Znaka \* in \*\* označujeta značilno razliko pri  $P < 0,05$  in  $P < 0,01$ .

Tabela 1. Povprečne (SD) vrednosti sistoličnega (SAP), diastoličnega (DAP) in srednjega (MAP) arterijskega tlaka ter frekvence srčnega utripa ( $f_{SU}$ ) izmerjene med mirovanjem in 10 s po zaključku testa vzdržljivosti mišic ekstenzorjev kolena pred in po obdobju vadbe. Test mišic je bil izveden enkrat z arterijsko okluzijo (Ishemični test) in enkrat z normalnim krvnim pretokom skozi aktivne mišice (Kontrolni test). Znaka \* in \*\* označujeta značilno razliko glede na vrednosti pred obdobjem vadbe pri  $P < 0,05$  in  $P < 0,001$ ; zank # označuje značilno razliko glede na Kontrolni test pri  $P < 0,01$ . Vse vrednosti izmerjene ob zaključku testa so bile značilno ( $P < 0,001$ ) višje od vrednosti v mirovanju, vendar zaradi preglednosti v tabeli niso posebej označene.

	PRED VADBO				PO VADBI			
	Mirovanje		Konec testa		Mirovanje		Konec testa	
	Kontrolni test	Ishemični test	Kontrolni test	Ishemični test	Kontrolni test	Ishemični test	Kontrolni test	Ishemični test
SAP (mmHg)	140 (15)	136 (16)	204 (31)	195 (24)	150 (13)	145 (11)	213 (18)	198 (16) #
DAP (mmHg)	81 (12)	76 (15)	122 (25)	119 (19)	89 (9) *	83 (11) *	129 (14) *	120 (13) #
MAP (mmHg)	101 (13)	96 (15)	150 (26)	144 (20)	109 (10) *	104 (11)	157 (15)	146 (13) #
$f_{SU}$ ( $\text{min}^{-1}$ )	75 (5)	74 (6)	139 (20)	136 (23)	77 (6)	75 (7)	155 (21) **	144 (17) #

### Frekvenca srčnega utripa

Vrednosti frekvence srčnega utripa ( $f_{SU}$ ) v mirovanju pred izvedbo testov mišične vzdržljivosti se bile primerljive pred in po obdobju vadbe. Primerljiv je bil tudi porast  $f_{SU}$  zaradi mišične aktivnosti ( $P < 0,001$ ) med obema testoma pred obdobjem vadbe. Po obdobju vadbe pa je bil opazen 12% porast vrednosti ( $P < 0,001$ ) med Kontrolnim testom, kar se je odrazilo tudi v 8% višji ( $P < 0,01$ )  $f_{SU}$  glede na vrednosti dosežene med Ishemičnim testom (tabela 1).

### RAZPRAVA

Rezultati naše raziskave kažejo, da ishemija med vadbo mišic ekstenzorjev kolena z lahkim bremenom do hotene odpovedi ne povzroči izrazitejšega srčnožilnega odziva kot enaka vadba z neoviranim krvnim pretokom skozi mišico. Nasprotno, po obdobju vadbe so bile izmerjene celo 8% večje maksimalne vrednosti vseh treh arterijskih tlakov in  $f_{SU}$  med mišično aktivnostjo z normalnim krvnim pretokom. Kljub razlikam v vzdržljivosti po obdobju vadbe, srčnožilni odzivi niso bili izrazito različni med testi izvedenimi z Ishemično ali Kontrolno nogo. Poleg tega sta bila po obdobju vadbe izmerjena tudi ~9% višji diastolični in srednji arterijski tlak v mirovanju pred testom vzdržljivosti.

Predhodne raziskave vadbe proti uporabi z lahкими bremenimi in oviranim pretokom krvi skozi mišice niso proučevale vpliva akutne ali kronične izpostavitve ishemični vadbi na srčnožilne odzive (2; 32), zato so naši rezultati novost. Čeprav rezultati, v nasprotju s pričakovanji, niso potrdili negativnega vpliva ishemične vadbe na srčnožilne odzive, je opazovan fenomen verjetno v veliki meri metodološke narave. Znano je namreč, da delna ishemija med vadbo povzroči izrazitejši dvig arterijskega tlaka in  $f_{SU}$  v primerjavi z vadbo enake dolžine in intenzitete, torej enakim opravljenim delom, z normalnim pretokom krvi (9; 12; 16). Ker je v našem primeru bil izveden test do hotene mišične odpovedi, lahko povečan



dvig arterijskih krvnih tlakov in  $f_{SU}$  med Kontrolnim testom po obdobju vadbe verjetno v večji meri pripišemo povečanemu kumulativnemu delu mišic in času trajanja aktivacije zaradi izrazito izboljšane vzdržljivosti obeh spodnjih udov po obdobju vadbe. Skoraj identičen porast vseh treh arterijskih tlakov med Ishemičnim testom obeh spodnjih udov pred in po obdobju vadbe (tabela 1) kaže na minimalen vpliv metaborefleksa in mehanorefleksa na regulacijo srčnožilnih odzivov med kratkotrajnim testom do mišične odpovedi. Za izvedbo 30-40 ekstenzij kolenskega sklepa (slika 3) med Ishemičnim testom do odpovedi je bilo namreč potrebnih od 60 do 80 s, kar je znatno manj kot 10-40 minut ishemične mišične aktivnosti proučevane v drugih raziskavah (9; 12; 16). Iz tega lahko tudi sklepamo, da ojačan srčnožilni odziv ni ključni dejavnik odpovedi mišice med kratkotrajno nizko intenzivno ishemično vadbo, ko se aktivira relativno majhna mišična masa. Velikosti aktivne mišične mase je torej tudi med ishemično vadbo pomemben dejavnik velikosti srčnožilnega odziva, kot je to v primeru vadbe z neoviranim krvnim pretokom (22; 35). Subjektivne zaznave naših preiskovancev kažejo, da je ključni vzrok za mišične odpovedi občutek neugodja oziroma bolečine v mišici. Kot kaže le-ta narašča hitreje in izraziteje kot refleksni srčnožilni odzivi.

Povišan DAP in MAP v mirovanju pred pričetkom Kontrolnega testa in povišan DAP pred pričetkom Ishemičnega testa mišične vzdržljivosti po obdobju vadbe je manj jasen. Znano je, da vnaprejšnja aktivacija srčnožilnih odzivov, kot posledica pričakovanja mišične aktivacije (ang. »feed forward central command«) povzroči zvišanje  $f_{SU}$  in v manjši meri tudi arterijskega tlaka tik pred pričetkom mišične aktivacije (14). Večina dokazov o vnaprejšnjih srčnožilnih prilagoditvah na vadbo temelji na eksperimentalnem modelu izometričnih kontrakcij z ali brez nevro-mišične blokade ter arterijske okluzije po aktivnosti. Obstaja tudi nekaj posrednih dokazov, da se podobne vnaprejšnje prilagoditve aktivnosti srčnožilnega sistema in simpatičnega živčevja zgodijo tudi pred in med dinamično mišično aktivnostjo (13; 17), vendar so dokazi za zdaj skromni. Praktično neraziskano je ali redna vadba kakorkoli vpliva na vnaprejšnjo aktivacijo srčnožilnih odzivov. Na podlagi naših rezultatov bi lahko sklepali, da ponavljajoča aktivacija mišičnih refleksov med redno ishemično vadbo lahko okrepi vnaprejšnjo aktivacijo simpatičnega živčevja, kar se odraža v zmanjšani relaksaciji srčne mišice in posledično povišanem DAP v mirovanju tik pred aktivacijo skeletnih mišic. Za potrditev ali zavrnitev te hipoteze so potrebne nadaljnje raziskave.

## SKLEP

Rezultati raziskave kažejo, da obremenitev srčnožilnega sistema med nizko intenzivno ishemično vadbo mišic ekstenzorjev kolena ni povišana v primerjavi z enako vadbo v normalnih pogojih dela. Nasprotno, nekoliko nižje vrednosti frekvence srčnega utripa in srednjega arterijskega tlaka dosežene med ishemičnim testom mišične vzdržljivosti so verjetno posledica krajšega trajanja mišične aktivacije zaradi hitrejšega naraščanja občutka neugodja v mišici in posledične mišične odpovedi. Srčnožilni odzivi med nizko intenzivno ishemično vadbo torej ne predstavljajo večjega dejavnika tveganja v primerjavi z vadbo brez okluzije krvi skozi aktivne mišice.

## SEZNAM OKRAJŠAV

AKT – arterijski krvni tlaki

SAP – sistolični arterijski tlak

MAP – srednji arterijski tlak

DAP – diastolični arterijski tlak

$f_{SU}$  – frekvenca srčnega utripa

MVC – maksimalna hotena kontrakcija

1RM – teža bremena, ki ga mišica lahko največ enkrat dvigne skozi celoten obseg giba

## LITERATURA

1. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, Koizumi K, Ishii N (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J Kaatsu Train Res* 1(1): 6-12.
2. Abe T, Kearns CF, Sato Y (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* 100 (5): 1460-6.
3. Adams GR, Cheng DC, Haddad F, Baldwin KM (2004). Skeletal muscle hypertrophy in response to isometric, lengthening, and shortening training bouts of equivalent duration. *J Appl Physiol* 96 (5): 1613-8.
4. Alam M, Smirk FH (1937). Observation in man upon a blood pressure raising reflex arising from the voluntary muscles. *J Physiol* 89 (4): 372-83.
5. Aschenbach WG, Sakamoto K, Goodyear LJ (2004). 5' adenosine monophosphate-activated protein kinase, metabolism and exercise. *Sports Med* 34 (2): 91-103.
6. Beard DJ, Dodd CA (1998). Home or supervised rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 27 (2): 134-43.
7. Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, Stankewich CJ, Renstrom PA, Nichols CE (1997). The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension: a comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med* 25 (6): 823-9.
8. De Carlo MS, Sell KE (1997). The effects of the number and frequency of physical therapy treatments on selected outcomes of treatment in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 26 (6): 332-9.
9. Eiken O, Bjurstedt H (1987). Cardiorespiratory responses to supine leg exercise during lower body negative pressure (LBNP). *Physiologist* 30 (1 Suppl): S70-S71.
10. Eiken O, Sundberg CJ, Esbjornsson M, Nygren A, Kaijser L (1991). Effects of ischaemic training on force development and fibre-type composition in human skeletal muscle. *Clin Physiol* 11 (1): 41-9.
11. Esbjornsson M, Jansson E, Sundberg CJ, Sylven C, Eiken O, Nygren A, Kaijser L (1993). Muscle fibre types and enzyme activities after training with local leg ischaemia in man. *Acta Physiol Scand* 148 (3): 233-41.

12. Gallagher KM, Fadel PJ, Smith SA, Norton KH, Querry RG, Olivencia-Yurvati A, Raven PB (2001). Increases in intramuscular pressure raise arterial blood pressure during dynamic exercise. *J Appl Physiol* 91 (5): 2351-8.
13. Gallagher KM, Fadel PJ, Stromstad M, Ide K, Smith SA, Querry RG, Raven PB, Secher NH (2001). Effects of partial neuromuscular blockade on carotid baroreflex function during exercise in humans. *J Physiol* 533 (3): 861-70.
14. Gandevia SC, Hobbs SF (1990). Cardiovascular responses to static exercise in man: central and reflex contributions. *J Physiol* 430: 105-17.
15. Griffin SE, Robergs RA, Heyward VH (1997). Blood pressure measurement during exercise: a review. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1): 149-59.
16. Kacin A, Golja P, Eiken O, Tipton MJ, Gorjanc J, Mekjavic IB (2005). Human temperature regulation during cycling with moderate leg ischaemia. *Eur J Appl Physiol* 95 (2-3): 213-20.
17. Kacin A, Golja P, Tipton MJ, Eiken O, Mekjavic IB (2008). The influence of fatigue-induced increase in relative work rate on temperature regulation during exercise. *Eur J Appl Physiol* 103 (1): 71-7.
18. Kaijser L, Sundberg CJ, Eiken O, Nygren A, Esbjornsson M, Sylven C, Jansson E (1990). Muscle oxidative capacity and work performance after training under local leg ischemia. *J Appl Physiol* 69 (2): 785-7.
19. Kaufman MP, Longhurst JC, Rybicki KJ, Wallach JH, Mitchell JH (1983). Effects of static muscular contraction on impulse activity of groups III and IV afferents in cats. *J Appl Physiol* 55 (1 Pt1): 105-12.
20. Kniffki KD, Mense S, Schmidt RF (1978). Responses of group IV afferent units from skeletal muscle to stretch, contraction and chemical stimulation. *Exp Brain Res* 31 (4): 511-22.
21. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69 (4): 1442-50.
22. Lewis SF, Snell PG, Taylor WF, Hamra M, Graham RM, Pettinger WA, Blomqvist CG (1985). Role of muscle mass and mode of contraction in circulatory responses to exercise. *J Appl Physiol* 58 (1): 146-51.
23. Manini TM, Clark BC (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 37 (2): 78-85.
24. Mense S (1978). Effects of temperature on the discharges of muscle spindles and tendon organs. *Pflugers Arch* 374 (2): 159-66.
25. Nakajima T, Iida H, Kurano M, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, Nagata T and KAATSU Training Group (2006). Use and safety of KAATSU training: results of national survey. *Int J Kaatsu Train Res* 2: 5-13.
26. Rotto DM, Schultz HD, Longhurst JC, Kaufman MP (1990). Sensitization of group III muscle afferents to static contraction by arachidonic acid. *J Appl Physiol* 68 (3): 861-7.
27. Stebbins CL, Brown B, Levin D, Longhurst JC (1988). Reflex effect of skeletal muscle mechanoreceptor stimulation on the cardiovascular system. *J Appl Physiol* 65 (4): 1539-47.

28. Sundberg CJ (1994). Exercise and training during graded leg ischaemia in healthy man with special reference to effects on skeletal muscle. *Acta Physiol Scand Suppl* 615: 1-50.
29. Sundberg CJ, Eiken O, Nygren A, Kaijser L (1993). Effects of ischaemic training on local aerobic muscle performance in man. *Acta Physiol Scand* 148 (1): 13-9.
30. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 88 (1): 61-5.
31. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 32 (12): 2035-9.
32. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88 (6): 2097-106.
33. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N (2004). Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol* 54 (6): 585-92.
34. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88 (6): 2097-106.
35. Taylor WF, Johnson JM, Kosiba WA (1990). Roles of absolute and relative load in skin vasoconstrictor responses to exercise. *J Appl Physiol* 69 (3): 1131-6.
36. Vanderthommen M, Duteil S, Wary C, Raynaud JS, Leroy-Willig A, Crielaard JM, Carlier PG (2003). A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved 1H- and 31P-NMRS in humans. *J Appl Physiol* 94 (3): 1012-24.
37. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T (2008). Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports* 18 (4): 401-16.