

Učinki ishemične vadbe z majhnim uporom na velikost in zmogljivost mišice quadriceps femoris pri pacientu po artroskopski resekciji meniskusa – študija primera

Effects of a low resistance ischemic exercise on performance and hypertrophy of quadriceps femoris muscle in a patient after arthroscopic partial meniscectomy – case study

Primož Kolarič¹, Tina Grapar Žargi¹, Alan Kacin¹

IZVLEČEK

Uvod: Namen študije primera je bil ugotoviti učinkovitost ishemične vadbe na velikost in zmogljivost mišice quadriceps femoris po artroskopski operaciji kolenskega sklepa. **Metode:** V enomesečni program ishemične vadbe je bil vključen pacient, star 29 let, 15 dni po artroskopski resekciji meniskusa. Vse meritve in testiranja smo opravili dvakrat, in sicer pred terapevtskim programom in po njem. Izvedli smo meritve obsega stegna, test enonožnega počepa ter meritve navora maksimalne izometrične kontrakcije in izotonične vzdržljivosti ekstenzorjev kolena. **Rezultati:** Po obdobju ishemične vadbe se je večina merjenih spremenljivk operirane noge izrazito izboljšala. Obseg stegna se je povečal za 3,4 cm, navor izometrične kontrakcije ekstenzorjev kolena se je povečal za 16 %, vzdržljivost se je izboljšala za 17 %. Hkrati se je za 20 % povečala amplituda EMG-aktivnosti, 13 % mišična poraba kisika in 20 % skupna prekrvitev mišice. **Sklep:** Ishemična vadba proti majhnemu uporom lahko klinično pomembno izboljša velikost, jakost in vzdržljivost mišic ekstenzorjev kolena v zgodnjem obdobju po artroskopski resekciji meniskusa. Varnost in učinkovitost ishemične vadbe pri okvarah kolena je treba ovrednotiti na večjem vzorcu.

Ključne besede: vadba z oviranim pretokom krvi, oksigenacija mišice, elektromiografija, poškodba kolena.

ABSTRACT

Introduction: The aim of this case study was to evaluate the effects of ischemic exercise training on quadriceps muscle size and performance after arthroscopic knee surgery. **Methods:** The patient, a 29-year old male, attended 4-weeks' program of ischemic exercise 15 days after arthroscopic partial meniscectomy. The thigh circumference, single leg squat test, maximal volitional isometric contraction torque and isotonic endurance of knee extensors were assessed before and after the training program. **Results:** Most of the measured variables significantly improved after the program. Thigh circumference, maximal isometric torque and isotonic endurance increased by 3.4 cm, 16% and 17%, respectively. This was paralleled with increases in EMG amplitude by 20%, muscle oxygen consumption by 13% and total muscle perfusion by 20%. **Conclusion:** Low-resistance ischemic exercise has clinically significant effect on the improvement of knee-extensor muscle size, strength and endurance in the early phase after arthroscopic knee meniscectomy. Safety and efficiency of ischemic exercise need to be evaluated in larger population.

Key words: blood flow restricted exercise, muscle oxygenation, electromyography, knee injury.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: doc. dr. Alan Kacin, dipl. fiziot.; e-pošta: alan.kacin@zf.uni-lj.si

Prispelo: 17.10.2017

Sprejeto: 6.11.2017

UVOD

Stopnja atrofije mišice quadriceps femoris je prepoznana kot eden pomembnejših dejavnikov slabe funkcionalne zmožnosti pacientov po poškodbi ali operaciji kolenskega sklepa (1, 2) in pogosto ostaja prisotna tudi več let po sicer uspešni operaciji. Zaradi nevarnosti, da z izvajanjem vaj v zgodnjem obdobju po operaciji preobremenimo in poškodujemo kirurško oskrbljene vezivnotkivne strukture, so dinamične vaje proti večjemu uporom ($\geq 70\%$ 1 ponovitvenega maksimuma) kontraindicirane. Pooperativna izguba mišične mase je torej v veliki meri neizbežna posledica razbremenjevanja uda, ki omogoča optimalno celjenje vezivnotkivnih sklepnih struktur. Obstajajo dokazi, da je vadba z lahкими bremenimi (~20–50 % 1 ponovitvenega maksimuma) in hkratnim delno oviranim pretokom krvi skozi aktivne mišice (ishemična vadba) enako učinkovita pri povečevanju mišične mase in jakosti zdravih ljudi kot standardna vadba s težkimi bremenimi (3, 4). Prav tako učinkovita se je pokazala tudi pri preprečevanju pooperativnih atrofij (5, 6) in atrofij zaradi razbremenjevanja uda (7, 8).

Mogoče mehanizme delovanja ishemične vadbe na skeletno mišico so pred kratkim povzeli Pope in sodelavci (9). Eden izmed predlaganih mehanizmov je izrazito povečanje koncentracije ravnega hormona v plazmi po ishemični vadbi, kar je primerljivo s koncentracijami, doseženimi z običajno vadbo s težkimi bremenimi (10), čeprav je vloga sistemnega ravnega hormona v procesu mišične hipertrofije verjetno zelo omejena (11). Druga, bolj verjetna, razlaga za hipertrofični učinek ishemične vadbe je, da zaradi hitrega izčrpanja oksidativnih vlaken tipa I pride do spremembe v zaporedju aktivacije motoričnih enot v korist večjih, pretežno anaerobnih motoričnih enot tipa II, kljub nizkim mehanskim obremenitvam (12, 13). V prid tej hipotezi govori tudi izrazito povečana amplituda EMG-signalov m. biceps brachii med akutno ishemično vadbo s 50 % 1RM (14). Toda če vadbo izvajamo do hotene odpovedi s 30 % (15) ali 15 % 1RM (16), razlike v amplitudi EMG-signalov m. quadriceps femoris ni opaziti. Po štirih tednih ishemične vadbe z lahкими bremenimi je celo vidno 45 % zmanjšanje EMG-amplitude m. rectus femoris (16). Poleg tega sta pomembna sprožilca mišične hipertrofije med ishemično vadbo tudi hipoksično okolje in

akumulacija metabolitov v celici (17). Ker ishemična vadba pospeši izčrpavanje visokoenergetskih fosfokreatinskih molekul in kopičenje laktata v mišici v primerjavi z običajno vadbo enake intenzitete, je verjetno aktivirana tudi AMPK-signalna pot (adenozin-monofosfat kinaza) mišične plastičnosti (18). Pokazala pa se tudi nekajkrat povečana aktivacija mišičnih satelitskih celic zaradi otekanja mišičnih vlaken, ki nastopi ob delni zaporu ožilja v mišici med ishemično vadbo (19). Zanimivo je, da ishemična vadba hkrati z jakostjo in hipertrofijo izrazito izboljša tudi vzdržljivost m. quadriceps femoris, kar je verjetno posledica povečane dostave kisika v tkivo (16) zaradi povečane filtracijske kapacitete kapilar (20) in izboljšane pretočnosti ožilja v mišici (21, 22). S stališča fizioterapije mišičnih atrofij so izsledki teh raziskav zelo pomembni, saj akutna atrofija zaradi nedejavnosti v največji meri prizadene prav oksidativna mišična vlakna tipa I in pripadajočo kapilarno mrežo (23).

Ishemična vadba proti majhnemu uporom se začnja uveljavljati kot kinezioterapevtska metoda predvsem za paciente z okvarami sklepov na spodnjih udih. Število raziskav na pacientih je za zdaj še zelo majhno, vendar so rezultati spodbudni. Z našimi nedavnimi raziskavami smo pokazali, da s kratkotrajno predoperativno pripravo, sestavljeno iz le petih vadbenih enot, sicer ne moremo zavreti atrofije m. quadriceps femoris po rekonstrukciji sprednje križne vezi (24), lahko pa pomembno zmanjšamo upad mišične vzdržljivosti, saj ohranimo aktivacijo in prekrvitev mišice (25). Čeprav je pojavnost negativnih stranskih učinkov ishemične vadbe zelo nizka (26), je smiselno pred uporabo ishemične vadbe pri vsakem posameznem pacientu presejati morebitne dejavnike tveganja (27).

Namen v nadaljevanju predstavljene študije primera je bil ovrednotiti učinkovitost in mehanizme delovanja ishemične vadbe z majhnim uporom v zgodnjem obdobju po artroskopski resekciji meniskusa v kolenu.

METODE

Preiskovanec

Protokol raziskave je odobrila komisija za medicinsko etiko Republike Slovenije (št. 62/05/12). V študiji primera je sodeloval športnik

borilne večšine ju-jitsu (starost 29 let, višina 168 cm, teža 72 kg), v nadaljevanju pacient, ki mu je na treningu borilnih večšin nasprotnik pri pokrčenem desnem kolenu zasukal peto, pri čemer je prišlo do močnejše zunanje rotacije v kolenskem sklepu. Pet mesecev po poškodbi je bil opravljen artroskopski poseg v lokalni anesteziji, pri katerem je bilo ugotovljeno, da sta zadnji dve tretjini medialnega meniskusa strgani, sprednja in zadnja križna vez pa sta bili brez vidnih poškodb, prav tako lateralni meniskus. Kirurg se je odločil za resekcijo posterioorne tretjine medialnega meniskusa in odstranitev medialne patelarne plike.

Preiskovanec je pred artroskopskim posegom opravil seznanjanje z merilnim protokolom in izvedel eno vadbeno enoto ishemične vadbe, s čimer smo izboljšali natančnost nadaljnjih meritev in pacienta vnaprej naučili pravilne izvedbe vadbe. Vse meritve in testiranja smo nato v celoti izvedli dvakrat, in sicer pred programom enomesečne fizioterapije z ishemično vadbo proti majhnemu uporom in po njem. Program vadbe je preiskovanec začel izvajati 15 dni po artroskopskem posegu.

Merilni protokol

S standardnim (plastičnim) goniometrom smo izmerili obseg pasivne gibljivosti kolenskega sklepa v smereh fleksije in ekstenzije po standardnem protokolu. Za izračun spremembe velikosti mišic smo izračunali popravljene obsege stegna. Obsege stegna smo izmerili bilateralno na proksimalnem delu stegna (23 cm od baze pogačice) in na distalnem delu stegna (11,5 cm od baze pogačice). Na istih mestih smo izmerili tudi medialno in lateralno kožno gubo. Iz podatkov smo izračunali pusti obseg posameznega dela stegna po enačbi:

$$\text{pusti obseg stegna} = \text{obseg stegna} - (\text{medialna kožna guba} + \text{lateralna kožna guba}) / 2.$$

Za oceno motorične funkcije spodnjega uda v zaprti kinetični verigi smo uporabili test enonožnega počepa z anteriornim dosegom. Meritev absolutne razdalje anteriornega dosega nestojne noge, pri čemer stopalo stojne noge v celoti ostane na podlagi, ima dokazano odlično zanesljivost znotraj preiskovalca (28) in med različnimi preiskovalci (29), z razponom zanesljivosti ICC = 0,84–0,94. Aktivacija mišice

gluteus maximus (30) in quadriceps femoris (31) je dokazano največja med izvedbo anteriornega dosega z noge. Pred testom je pacient izvedel deset sonožnih počepov s fleksijo v kolenih do največ 90° in raztezanje mišic quadriceps femoris, triceps surae in gluteus maximus. Dolžina dosega je bila izmerjena na 0,5 cm natančno. Z vsakim udom smo meritev ponovili trikrat. Povprečje treh meritev smo uporabili za nadaljnjo analizo.

Maksimalen navor hotene izometrične kontrakcije (angl. maximum volitional isometric contraction – MVIC) mišic ekstenzorjev kolena smo izmerili s pomočjo izometričnega dinamometra (S2P, d. o. o., Slovenija). Položaj preiskovanca je bil sede s fleksijo 60° v kolenu in ročico, dolgo 27,5 cm. Merjeni spodnji ud je bil fiksiran na ročico trenažerja s trakom, s čimer smo se izognili možnosti sunkovitega giba ekstenzije kolena. Preiskovanec je po namestitvi v ustrezen položaj na trenažerju izvedel tri petsekundne maksimalne kontrakcije ekstenzorjev kolena, najprej s kontrolno in nato še z operirano nogo. Med posamezno kontrakcijo je bil 90-sekundni premor. Upoštevana je bila največja izmerjena vrednost posamezne kontrakcije v treh poskusih. Med izvedbo testa smo merili površinsko EMG-aktivnost mišice vastus medialis.

Test izotonične mišične vzdržljivosti se je izvajal na trenažerju za izteg kolena (Sokol Gym, d. o. o., Slovenija). Hkrati smo neinvazivno merili mišično oksigenacijo (NIRS) in električno aktivnost s površine kože (EMG). Pred testom izotonične vzdržljivosti je preiskovanec za ogrevanje izvedel 12 ponovitev ekstenzije kolenskega sklepa brez dodatnega upora. Hitrost izvajanja gibov je bila 28 ciklov ekstenzije in fleksije kolena na minuto z obremenitvijo 2,5 kg. Nato je preiskovanec izvedel niz ponovitev izotoničnih gibov ekstenzije kolena z enako hitrostjo in obremenitvijo kot med ogrevanjem. Niz ponovitev je trajal do hotene odpovedi, kar pomeni do trenutka, ko preiskovanec ni bil več sposoben izvesti iztega kolena ali ko se je obseg giba zmanjšal za več kot četrtno.

Razmerje koncentracije oksigeniranega ([O₂Hb]) in deoksigeniranega hemoglobina ([HHb]) smo spremljali z dvokanalnim infrardečim laserskim spektrometrom (NIRS) z valovno dolžino 760 in 850 nm (Oxymon II, Artinis Medical Systems,

Nizozemska). Oddajno in sprejemno sondo smo z razmikom 45 mm vpeli v nosilec, ki smo ga z dvostranskim lepilnim diskom prilepili na predhodno obrito in razmaščeno kožo nad mišico vastus lateralis operirane noge, na sredini med velikim trohantrinom in lateralnim kondilom stegenice. To nam je omogočilo merjenje spremembe $[O_2Hb]$ in $[HHb]$ v mišičnem tkivu do 4 cm globoko pod površino kože. Vrednost $[HHb]$ signala je med vadbo z neoviranim pretokom krvi neobčutljiva na spremembe volumna krvi v mišici, zato je zanesljiv kazalnik mišične oksigenacije in porabe kisika (32). S seštevkem vrednosti signalov $[O_2Hb]$ in $[HHb]$ smo izračunali skupno vrednost hemoglobina ($[tHb]$) v tkivu, ki je zanesljiv kazalnik volumna krvi v mišic in s tem prekrvitve mišice (33).

Elektrodi za merjenje površinske EMG smo namestili na mišico vastus medialis po standardnem protokolu SENIAM (34). Uporabljene so bile elektrode (2650 RedDot, 3M, ZDA). Kožo smo predhodno obrili, odstranili povrhnji sloj epiteljskih celic in razmastili z alkoholom, s čimer se je upornost kože zmanjšala na < 5000 ohmov (34). Odjemno mesto na koži je bilo označeno s permanentnim črnilom za boljšo ponovljivost namestitve elektrod ob ponovnem testiranju. Električna aktivnost mišice je bila sprejeta in ojačena s štirikanalnim ojačevalnikom s frekvenco zajemanja signala 1000 Hz v frekvenčnem območju 1–500 Hz in z 2000-kratnim ojačenjem signala (TEL 100C in MP150WS, Biopac System Inc., CA, USA). Surov EMG-signal je bil naknadno filtriran s high-pass IIR-digitalnim filtrom s pražno frekvenco 10 Hz (Acqknowledge 3.9.2., Biopac System, ZDA). Filtriran signal je bil nato zglašen z učinkovito amplitudo (angl. Root-mean square, RMS) EMG-signala, pri čemer je bila uporabljena širina okna 300 ms. Med testom izotonične vzdržljivosti je bila učinkovita amplituda EMG-signala za posamezno mišico določena kot povprečje vrednosti znotraj enega koncentrično-ekscentričnega cikla (dvig in spust uteži) ter izražena kot odstotek največje amplitude, dosežene med testom MVIC (35). Ločeno je bila izvedena tudi analiza frekvenčnega spektra surovega EMG s Fourierjevo transformacijo (Acqknowledge 3.9.2., Biopac System, ZDA).

Program fizioterapije z ishemično vadbo proti majhnem uporom

Fizioterapija z ishemično vadbo je trajala en mesec in je vključevala 13 vadbenih enot, trikrat na teden. Posamezno vadbeno enoto je sestavljalo ogrevanje mišice quadriceps femoris na trenažerju za izteg kolena (Sokol Gym, d. o. o., Slovenija), tri serije po dva seta ponovitev ekstenzije kolena do odpovedi in zaključno raztezanje. Ogrevanje je vključevalo 15 enakomernih ponovitev giba ekstenzije kolena z minimalnim uporom (2,5 kg). Nato je sledila delna okluzija ožilja, povzročena z manšetnim sistemom, na proksimalnem delu stegna s tlakom 150 mm Hg (Ischemic Trainer, Univerza v Ljubljani in Iskra Medical, d. o. o., Slovenija). Po 30 sekundah mirovanja je preiskovanec začel izvajati gibe ekstenzije kolena z začetnim uporom 5,5 kg do odpovedi, nato je sledil premor, dolg 45 sekund, z vzdrževano okluzijo stegenskih mišic in nato še drugi niz vaje do odpovedi. Hitrost izvajanja gibov je bila 28 ciklov ekstenzije in fleksije kolena na minuto. Med posamezne serije smo vključili 90-sekundni premor brez okluzije. Vadbeni upor smo za 0,5 kg povečali vsakič, ko je preiskovanec v prvem nizu dosegel ali presegel vrednost 36 ponovitev. Za napredovanje s 5,5 kg na 6 kg je bilo opravljenih pet vadbenih enot, s 6 kg na 6,5 kg dve enoti, s 6,5 kg na 7 kg tri enote, s 7 kg na 7,5 kg pa le ena vadbeno enota.

REZULTATI

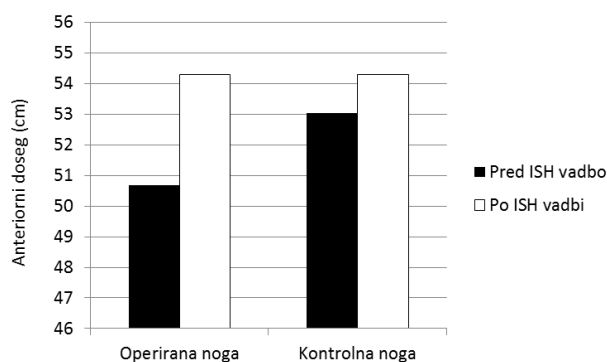
Pusti obseg proksimalnega dela stegna se je po koncu programa fizioterapije z ishemično vadbo povečal za 0,5 cm na operirani nogi, na kontrolni nogi pa se je zmanjšal za 0,2 cm. Popravljen obseg distalnega dela stegna se je po koncu programa ishemične vadbe povečal za 3,4 cm na operirani nogi in za 0,6 cm na kontrolni nogi (preglednica 1).

Pred vadbo je bil obseg pasivne gibljivosti kolenskega sklepa od 5° do 145° fleksije. Ob končnih stopinjah fleksije je bila prisotna ostra bolečina na notranji strani kolena. Na kontrolni nogi smo izmerili gibljivost v smeri fleksije od 0° do 155° . Po koncu programa ishemične vadbe je obseg pasivne gibljivosti kolenskega sklepa v smeri fleksije na operirani nogi znašal od 0° do 155° , brez bolečine (preglednica 1).

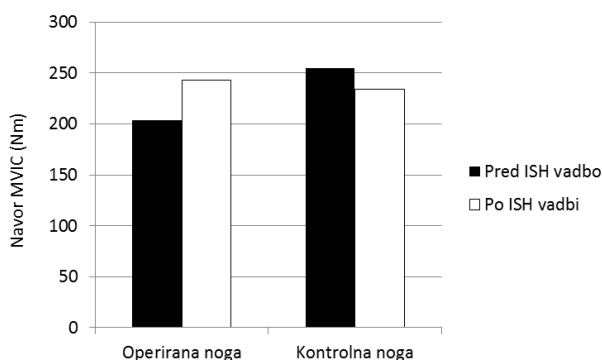
Preglednica 1: Popravljeni obsegi proksimalnega in distalnega dela stegna in obseg pasivne gibljivosti kolena operirane in kontrolne noge

	Testiranje	Operirana noga	Kontrolna noga
Obseg stegna proksimalno (cm)	pred vadbo	55,5	57,5
	po vadbi	56,0	57,3
Obseg stegna distalno (cm)	pred vadbo	44,7	46,7
	po vadbi	48,1	47,3
Obseg pasivne gibljivosti kolena (°)	pred vadbo	5/145 B	5/155
	po vadbi	5/155	5/155

Pred programom vadbe je test enonožnega globokega počepa z operirano nogo znašal 50,7 cm, s kontrolno nogo pa je bil doseg 53,0 cm. Po opravljenem programu ishemične vadbe se je razdalja dosega pri počepu z operirano nogo povečala za 3,6 cm, pri počepu s kontrolno nogo pa za 1,3 cm (slika 1).



Slika 1: Test enonožnega globokega počepa z anteriornim dosegom pred programom fizioterapije z ishemično vadbo in po njem



Slika 2: Navor maksimalne hotene izometrične kontrakcije (MVIC) ekstenzorjev kolena ishemičnega (operirana noga) in kontrolnega (kontrolna noga) spodnjega uda pri 60° fleksije v kolenu, merjeno pred programom ishemične (ISH) vadbe in po njem

Pred programom vadbe je bil izmerjen 20 % deficit navora maksimalne hotene izometrične kontrakcije operirane noge. Po programu ishemične vadbe je pacient z operirano nogo razvil 3,7 % večji navor maksimalne hotene izometrične kontrakcije kot s kontrolno nogo (slika 2).

Pred začetkom fizioterapije z ishemično vadbo je bilo največje število ponovitev giba operiranega spodnjega uda 71, po koncu programa pa 86. Število ponovitev se je po programu torej povečalo za 17 %.

Vrednosti merjenih parametrov oksigenacije m. vastus lateralis med počasno fazo deoksigenacije mišice med testom vzdržljivosti so zbrane v preglednici 2. Povprečna vrednost [O₂Hb] se je po obdobju vadbe zmanjšala za 1 %, [HHb] pa povečala za 13 %. Obseg spremembe [O₂Hb] se je po obdobju vadbe zmanjšal za 22 %, posledično se je zmanjšala tudi hitrost padanja [O₂Hb] za 27 %. Obseg spremembe [HHb] se je po obdobju vadbe zmanjšal za 10 %, posledično se je zmanjšala tudi hitrost naraščanja [HHb] za 17 %. Povprečna vrednost [tHb] se je po obdobju vadbe povečala za 20 %. Obseg spremembe [tHb] se je po obdobju vadbe povečal za 22 %, posledično se je povečala tudi hitrost naraščanja [tHb] za 8 %.

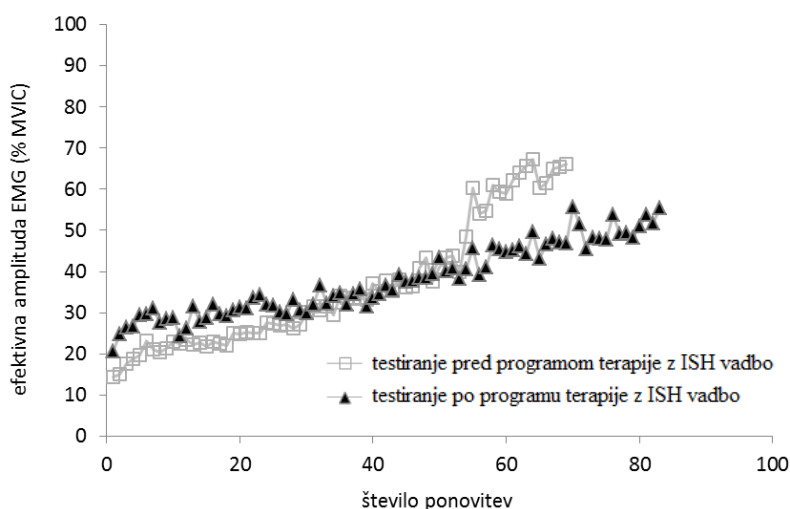
Pred programom ishemične vadbe je bilo povprečje prvih petih vrednosti efektivne amplitude EMG m. vastus medialis na operirani nogi 17 %, povprečje končnih petih vrednosti pa 64 % MVIC. Po programu ishemične vadbe je bilo povprečje prvih petih vrednosti efektivne amplitude EMG mišice vastus medialis na operirani nogi 25 % MVIC, končnih pa 52 % (slika 3).

Pred programom vadbe je povprečna frekvenca EMG v prvih petih koncentrično-ekscentričnih ciklih znašala 110 Hz, povprečje končnih petih

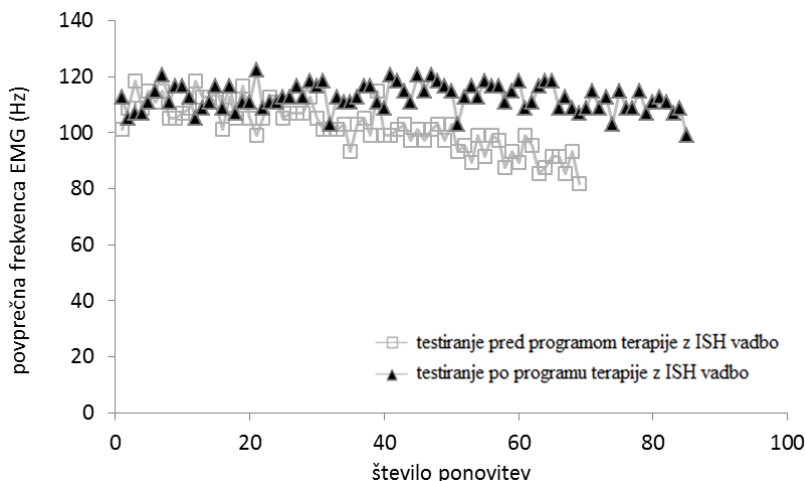
Preglednica 2: Parametri kinetike kisika v mišici vastus lateralis operirane noge med fazo počasne deoksigenacije med izvedbo testa izotoničnega utrujanja pred obdobjem ishemične vadbe in po njem

Pred vadbo	Povprečje (\bar{M})	Obseg spremembe (\bar{M})	b (\bar{M}/L)
[O ₂ Hb]	-9,263	-9,827	-0,059
[HHb]	13,819	3,174	0,020
[tHb]	4,078	11,206	0,065
Po vadbi	povprečje (\bar{M})	obseg spremembe (\bar{M})	b (\bar{M}/L)
[O ₂ Hb]	-9,196	-7,711	-0,043
[HHb]	15,588	2,849	0,017
[tHb]	4,911	13,698	0,070

[O₂Hb] – koncentracija oksigeniranega hemoglobina, [HHb] – koncentracija deoksigeniranega hemoglobina, [tHb] – koncentracija skupnega hemoglobina, b – hitrost spremembe



Slika 3: Efektivna amplituda EMG-aktivnosti mišice vastus medialis operirane noge pred programom ishemične (ISH) vadbe in po njem, normalizirana na vrednost maksimalne izometrične kontrakcije (MVIC)



Slika 4: Spremembe povprečne frekvence EMG-signala mišice vastus medialis operirane noge med testom izotonične vzdržljivosti pred programom terapije z ishemično (ISH) vadbo in po njem

ciklov pa 89 Hz. Po programu ishemične vadbe je povprečje prvih petih vrednosti frekvence EMG na začetku znašala 109 Hz, ob končni ponovitvi maksimalnega števila ponovitev pa 108 Hz (slika 4).

RAZPRAVA

Predoperativne vrednosti merjenja obsegov stegna in kožnih gub so pokazale zmerno atrofijo stegenskih mišic operirane noge, saj je bil deficit obsega približno 2 cm na proksimalnem in distalnem delu stegna. Z ishemično vadbo se je obseg predvsem distalnega dela stegna klinično pomembno povečal, in sicer za 3,4 cm, iz česar sklepamo, da je ishemična vadba kljub majhnemu vadbenemu uporom povzročila precejšnjo hipertrofijo. Primerljiv hipertrofični učinek so dokazali tudi v drugih raziskavah ishemične vadbe z lahkim bremenom. Loenneke in Pujol (36) poročata o 2 %, Kacin in Stražar (16) o 3,4 % in Takarada in sodelavci (4) o 9 % hipertrofičnem učinku tritedenske ishemične vadbe z uporom, ki ni bil večji od 20 % 1 ponovitvenega maksimuma. Razlike v učinkovitosti so najverjetneje posledica precejšnjih razlik v izhodiščnem stanju preiskovancev, izbranih parametrov vadbe in stopnji žilne okluzije med raziskavami.

Pozitiven vpliv terapije z nizkointenzivno ishemično vadbo se je pri našem pacientu pokazal predvsem v izboljšanju navora MVIC mišic ekstenzorjev kolena operirane noge, saj se je ta povečal za 16 %. To je primerljivo z nekaterimi že objavljenimi poročili o učinkih intenzivnih dvotedenskih vadbenih programov ishemične vadbe pri zdravih posameznikih, s katerimi so Abe in sodelavci (3) povečali navor MVIC za 7 %, Kubo in sodelavci (37) za 8 % ter Madarame in sodelavci (38) za 15 %. Nasprotno, v eni prejšnjih raziskav iz našega laboratorija na zdravih preiskovancih (16) štiritredenska manj frekventna ishemična vadba z majhnim uporom ni povzročila pomembnih sprememb v navoru MVIC ekstenzorjev kolena. Podobno tudi Takarada in sodelavci (4) poročajo o le minimalnem učinku na maksimalni izometrični navor. Kaže, da je za pomembno povečanje navora MVIC bistvena tedenska frekvenca vadbe, in sicer za zdrave trenirane posameznike vsaj petkrat na teden, pri pacientih z mišično oslabelostjo pa je, kot kaže, učinkovita že vadba trikrat na teden.

Podobno velik učinek kot na navor MVIC je imela ishemična vadba tudi na vzdržljivost pri izvajanju izotoničnih ekstenzij in fleksij kolena z majhnim uporom. Ta se je z vadbo izboljšala za 17 %, kar je bilo hkrati povezano s 13 % večjo porabo kisika in 20 % povečano skupno prekrvitvijo mišice med počasno fazo deoksigenacije. Kaže torej, da je mišica po vadbi hitreje uravnavala dostavo kisika med ponavljajočimi se kontrakcijami in zato prej dosegla novo stabilno stanje porabe kisika. To kaže na hitrejši odziv kapilarnega ožilja in tudi hitrejšo prilagoditev oksidativnega metabolizma v mišici, kar potrjuje rezultate naše raziskave na zdravih preiskovancih (16). Tudi povprečna vrednost [tHb] v mišici med počasno fazo deoksigenacije je bila po končani terapiji z ishemično vadbo za 22 % večja in za približno 8 % hitrejša, kar kaže, da se je z vadbo izboljšala in pospešila prekrvitev mišice med izvajanjem ponavljajočih se kontrakcij. To je verjetno znak povečane kapacitete mišičnega žilja za dilatacijo med aktivnostjo. Podobno so tudi druge raziskave pokazale povečano filtracijsko kapaciteto kapilar (20) in izboljšano pretočnost ožilja v mišici (21, 22) po ishemični vadbi z majhnim uporom. Med testom vzdržljivosti se je za 13 % povečala tudi vrednost [HHb], kar nakazuje večjo porabo kisika v mišici in s tem povečan delež oksidativne fosforilacije ATP za ohranjanje mišične kontrakcije.

Hkrati z izboljšano hemodinamiko in oksigenacijo je naš pacient z vadbo razvil tudi večjo hoteno aktivacijo m. quadriceps femoris. Primerjava efektivne amplitude EMG-signala mišice vastus medialis med testom vzdržljivosti kaže, da je pacient po obdobju z ishemično vadbo že na začetku testa aktiviral več motoričnih enot, katerih aktivacija pa je bila bolj enakomerna in konstantna vse do hotene odpovedi. Povečana aktivacija mišice, ki je bila pred obdobjem vadbe očitna v zadnjem delu testa, je po vadbi povsem izzvenela, kljub 17 % večjemu številu opravljenih kontrakcij (slika 3). Zmanjšanje živčno-mišičnega utrujanja je lepo vidno tudi iz zmanjšane upada povprečne frekvence proženja mišice. Ta se po vadbi praktično ni spreminjala, pred vadbo pa je med testom postopno padala (slika 4). Opazovane spremembe v navoru MVIC, kinetiki kisika in EMG-aktivnosti nakazujejo, da je ishemična vadba z majhnim uporom pri našem pacientu izboljšala predvsem delovanje tipa II a mišičnih vlaken, saj

so se hkrati izboljšale jakost in aktivacija mišice ter oksidativna kapaciteta in perfuzija mišice. Izboljšanje aktivacije m. quadriceps femoris z ishemično vadbo je skladno z ugotovitvami Moora in sodelavcev (39) ter potrjuje teorijo o povečani rekrutaciji večjih motoričnih enot z ishemično vadbo (9) kljub majhnemu mehanskemu uporom. Pomembno povečano EMG-amplitudo in vzdržljivost m. quadriceps femoris v zgodnjem obdobju po rekonstrukciji sprednje križne vezi kolena smo pred nedavnim dokazali tudi pri pacientih, ki so pred operacijo izvedli kratek program ishemične vadbe z majhnim uporom (25). Kaže, da ta deluje ugodno na zmanjšanje pooperativne inhibicije in s tem oslabelosti m. quadriceps femoris.

Anteriorni doseg pri enonožnem počepu z operirano nogo se je med terapijo z ishemično vadbo izboljšal za 3,6 cm oziroma 6 %. To kaže, da se je z ishemično vadbo izboljšala tudi funkcijska zmogljivost spodnjega uda, vendar je bil učinek precej manjši kot na jakost in vzdržljivost. To pripisujemo dejstvu, da vadba ni bila usmerjena v kompleksnejša gibanja oz. gibanja v zaprti kinetični verigi z obremenitvijo teže preostalega telesa. Za boljši učinek terapije na funkcijo spodnjega uda bi bilo smiselno ishemično vadbo nadgraditi s kompleksnejšimi in v funkcijo usmerjenimi gibalnimi vzorci, kot so enonožni počepi, dvigi na stopnico, asimetrični počepi, počepi v koraku ipd.

ZAKLJUČEK

Rezultati te študije primera kažejo, da ima kinezioterapija z ishemično vadbo proti majhnemu uporom klinično pomemben učinek na hipertrofijo, povečanje največjega navora in izboljšanje vzdržljivosti mišice quadriceps femoris. To kaže, da je ishemična vadba lahko klinično uporabna za krepitev mišice v zgodnjem obdobju po artroskopski resekciji meniskusa kolena. Za boljši učinek terapije bi bilo smiselno izvajati ishemično vadbo tudi v bolj kompleksnih in v funkcijo usmerjenih gibalnih vzorcih. Za dokončno ovrednotenje varnosti in učinkovitosti ishemične vadbe v zgodnjih pooperativnih obdobjih so potrebne nadaljnje raziskave na večjih vzorcih pacientov. Pri tem je pomembno raziskati in določiti optimalne parametre vadbe, in sicer stopnjo ishemije, zunanji upor, tedensko frekvenco

in najučinkovitejše gibalne vzorce za posamezne mišične skupine.

LITERATURA

1. Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L (2005). Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther* 35: 424–36.
2. Saleh KJ, Lee LW, Gandhi R, Ingersoll CD, Mahomed NN, Sheiban-Rad S, Novicoff WM, Mihalko WM (2010). Quadriceps strength in relation to total knee arthroplasty outcomes. *Instr Course Lect* 59: 119–30.
3. 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: 1460–6.
4. 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: 585–92.
5. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S (2003). Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand* 74: 62–8.
6. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 32: 2035–9.
7. Clark BC, Fernhall B, Ploutz-Snyder LL (2006). Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting: I. Skeletal muscle contractile properties and applied ischemia efficacy. *J Appl Physiol* 101: 256–63.
8. Nicholl JP, Coleman P, Williams BT (1995). The epidemiology of sports and exercise related injury in the United Kingdom. *Br J Sports Med* 29: 232–8.
9. Pope Z, Willardson J, Schoenfeld B (2013). Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res* 27: 2914–26.
10. 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: 61–5.
11. Rennie MJ (2003). Claims for the anabolic effects of growth hormone: a case of the emperor's new clothes? *Br J Sports Med* 37: 100–5.
12. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y, Abe T (2009). Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *J Sports Sci* 27: 479–89.
13. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Iida H, Imuta H, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T (2014). Effects

- of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scand J Med Sci Sports* 24: 55–61.
14. 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: 2097–106.
 15. Wernbom M, Jarrebring R, Andreasson MA, Augustsson J (2009). Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res* 23: 2389–95.
 16. Kacin A, Strazar K (2011). Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports* 21: e231–41.
 17. Takada S, Okita K, Suga T, Suga T, Omokawa M, Kadoguchi T, Sato T, Takahashi M, Yokota T, Hirabayashi K, Morita N, Horiuchi M, Kinugawa S, Tsutsui H (2012). Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J Appl Physiol* 113: 199–205.
 18. Aschenbach WG, Sakamoto K, Goodyear LJ (2004). 5' adenosine monophosphate-activated protein kinase, metabolism and exercise. *Sports Med* 34: 91–103.
 19. Nielsen J, Aagaard P, Bech R, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, Suetta C, Frandsen U (2012). Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol (London)* 590: 4351–61.
 20. Evans C, Vance S, Brown M (2010). Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci* 28: 999–1007.
 21. Patterson S, Ferguson R (2010). Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. *Eur J Appl Physiol* 108: 1025–33.
 22. Hunt J, Galea D, Tufft G, Bunce D, Ferguson R (2013). Time course of regional vascular adaptations to low load resistance training with blood flow restriction. *J Appl Physiol* 115: 403–11.
 23. Salanova M, Schiffl G, Puttmann B, Schoser BG, Blotner D (2008). Molecular biomarkers monitoring human skeletal muscle fibres and microvasculature following long-term bed rest with and without countermeasures. *J Anat* 212: 306–18.
 24. Grapar Zargi T, Drobnič M, Koder J, Strazar K, Kacin A (2016). The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med* 52: 310–20.
 25. Kacin A, Grapar Žargi T, Stražar K, Drobnič M (2016). Preconditioning with ischemic exercise preserves quadriceps femoris muscle endurance performance following ACL reconstruction. In: Baca A, ur. 21st Annual Congress of the European College of Sport Science. Vienna, Austria, May 2016: ECSS: 92–3.
 26. Nakajima T, Iida H, Kurano M, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, Nagata T (2006). Use and safety of KAATSU training: results of national survey. *Int J KAATSU Training Res* 2: 5–13.
 27. Kacin A, Rosenblatt B, Grapar Žargi T, Biswas A (2015). Safety considerations with blood flow restricted resistance training. *Annales Kinesiologiae* 6: 3–26.
 28. Munro AG, Herrington LC (2010). Between-session reliability of the star excursion balance test. *Phys Ther Sport* 11: 128–32.
 29. Gribble PA, Kelly SE, Refshauge KM, Hiller CE (2013). Interrater Reliability of the Star Excursion Balance Test. *J Athl Train* 48: 621–6.
 30. Norris B, Trudelle-Jackson E (2011). Hip- and Thigh-Muscle Activation During the Star Excursion Balance Test. *J Sport Rehabil* 20: 428–41.
 31. Earl JE, Hertel J (2001). Lower-extremity muscle activation during the star excursion balance tests. *J Sport Rehabil* 10: 93–104.
 32. De Blasi RA, Cope M, Elwell C, Safoue F, Ferrari M (1993). Noninvasive measurement of human forearm oxygen consumption by near infrared spectroscopy. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 67: 20–5.
 33. Van Beekvelt MCP, Colier WJNM, Wevers RA, Van Engelen BGM (2001). Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 90: 511–9.
 34. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 10: 361–74.
 35. Callewaert M, Boone J, Celie B, De Clercq D, Bourgeois J (2013). Quadriceps Muscle Fatigue in Trained and Untrained Boys. *Int J Sports Med* 34: 14–20.
 36. Loenneke JP, Pujol TJ (2009). The Use of Occlusion Training to Produce Muscle Hypertrophy. *J Strength Cond Res* 31: 77–84.
 37. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H, Fukunaga T (2006). Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech* 22: 112–9.

38. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N (2008). Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 40: 258–63.
39. Moore DR, Burgomaster KA, Schofield LM, Gibala MJ, Sale DG, Phillips SM (2004). Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol* 92: 399–406.