



**Znanstveno-raziskovalno središče Koper
Garibaldijeva 1, 6000 Koper**

ANALIZA UČINKOVITOSTI HIPERBARIČNE IN RADIJSKO FREKVENČNE TERAPIJE ŠPORTNIH MIKROPOŠKODB

Končno poročilo o rezultatih raziskave

Boštjan ŠIMUNIČ¹, Jan Čžan Stermšek¹, Monika Doles¹, Andrej Švent²

¹ ***Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Inštitut za kineziološke raziskave, Slovenija***

² ***INTACT Ltd., Ljubljana, Slovenija***

Koper, 10.11.2021

UVOD

Bolečina 24-72 ur po novi ali zelo intenzivni vadbi je zelo pogosta tako za športnike kot nešportnike. To je stanje, znano kot zakasnjena bolečina v mišicah (DOMS). Kot Hotfiel et al. (2018) so razložili klinične znake DOMS, vključno z zmanjšano zmogljivostjo sile, povečano bolečino z omejevanjem gibanja, togostjo, otekanjem in disfunkcijo sosednjih sklepov¹. Najzgodnejši klinični znaki se začnejo že 6 do 12 ur po vadbi, ki jih povzroči strukturna poškodba mišic in se postopoma povečuje, dokler ne doseže najvišje ravni bolečine 24 do 72 ur po vadbi. Nato se simptomi zmanjšajo, dokler ne izginejo v 5 do 7 dneh kasneje.

Avtorji so postavili številne hipoteze o etiologiji DOMS. Raziskave kažejo, da so ekscentrične vaje sprožilec za DOMS. Ekscentrične vaje so tiste, zaradi katerih se mišice med krčenjem podaljšajo, primeri vključujejo spuščanje uteži ali izvajanje nordijske vaje za zadnje stegenske mišice². Trenutno natančen mehanizem poškodbe mišic in s tem povezanih celičnih mehanizmov v DOMS ni popolnoma razumljen, vendar obstaja veliko hipotez. Trenutno se domneva, da je primarni mehanizem mehanska poškodba skeletnega mišičnega tkiva zaradi ekscentrične vadbe, ki vodi do nadaljnje razgradnje beljakovin, autofagije in lokalnega vnetnega odziva mišice¹.

Čeprav DOMS velja za blago vrsto mišične poškodbe, je eden najpogostejših vzrokov slabe športne uspešnosti, če ne celo odsotnosti pri športni aktivnosti. Uvedenih je bilo več strategij zdravljenja, ki pomagajo ublažiti resnost DOMS in čim hitreje obnoviti maksimalno delovanje mišic³. Nesteroidna protivnetna zdravila so pokazala od odmerka odvisne učinke, na katere lahko vpliva tudi čas jemanja zdravil. Podobno je masaža pokazala različne rezultate, ki jih je mogoče pripisati času uporabe masaže in vrsti uporabljene masažne tehnike. Hiperbarično zdravljenje, krioterapija, raztezanje, homeopatija, ultrazvok in načini električnega toka niso pokazali nobenega učinka na lajšanje bolečin v mišicah ali drugih simptomov DOMS. Zdi se, da je vadba najučinkovitejše sredstvo za lajšanje bolečin med DOMS, vendar je analgetični učinek tudi začasen.

Tehnologija kapacitivno-odpornega električnega prenosa (CRET) je ena najnovejših terapevtskih metod za zdravljenje številnih stanj, kot so poškodbe in vnetja ali samo regeneracija telesnih tkiv. Uporablja se za zdravljenje športnih in ortopedskih poškodb, za regeneracijo po vadbi in za pripravo mišic pred vadbo⁴. Učinkovitost pa ni bila nikoli testirana v DOMS. Ta neinvazivna elektroterapija uporablja električne tokove v frekvenčnem območju 400 kHz – 450 kHz⁵. Uporablja se predvsem za aktiviranje sistema za popravilo in obnovitev tkiva, tako da olajša polarizacijo celične membrane, spodbuja izmenjavo znotraj in zunajcelične tekočine, zmanjša bolečino, zmanjša vnetje in poveča pretočnost limfe. Energija se oddaja na dva načina - v kapacitivnem in uporovnem načinu. Elektroda v kapacitivnem načinu, ki ima za posledico učinek v hidratiziranem tkivu, izboljša vaskularizacijo tkiv in njihove anatomske lastnosti, medtem ko elektroda v uporovnem načinu povzroči pospeševanje

popravlil uporabnega tkiva. Električni tok radijske frekvence 448 kHz je pokazal najboljši rezultat pri stimulaciji mezenhimske matične celice k hitrejšemu zorenju in doseganju hitrejša proliferacije, kar ima za posledico hitrejša regeneracijske procese v poškodovanih tkivih. Metoda zdravljenja se imenuje Indiba Activ 4.

Namen te študije je bil ugotoviti učinkovitost terapije Indiba pri osebah, ki so bili namerno izpostavljeni ekscentrični vadbi, da bi povzročili DOMS.

METODE

Projekt je bil predlagan v širšem obsegu financiranja, a žal ni bil odobren v celoti. Tako smo izvedli eno intervencijsko skupino (radio frekvenčna terapija) in ne druge intervencijske skupine (hiperbarična terapija). Študija je bila izvedena s sofinanciranjem podjetja INTACT d.o.o. in aplikativno raziskovalnega projekta L7-9421 Dekompozicija tenziomiograma skeletne mišice in identifikacija kontraktilnih parametrov občutljivih na mišične prilagoditve (L7-9421).

Preiskovanci

V raziskavo smo vključili devetindvajset moških preiskovancev (Tabela 1). Vsi postopki so bili odobreni s strani Komisije za medicinsko etiko Republike Slovenije (Št. 0120-84/2020/4) in vsi preiskovanci so podpisali pisno soglasje pred pričetkom raziskave.

Tabela 1: Osnovne antropometrične značilnosti preiskovancev

	Min	Maks	Povprečje	SD
Starost / leta	18	38	25,2	4,5
Telesna masa / kg	56,6	124,1	81,6	15,1
Telesna višina / cm	166	191	180,1	5,7
Indeks telesne mase / kg/m ²	18,9	35,9	25,0	3,7
Maščobna masa / %	10,1	40,6	22,0	7,3
Kostna mineralna gostota / Z-vrednost	1,14	1,61	1,34	0,12

Raziskovalni načrt

Preiskovanci so bili naključno razporejeni v dve skupini. Kontrolna skupina (CG; N=15) po sprožitvi DOMS ni imela nobene terapevtske intervencije. Medtem ko je eksperimentalna skupina (EG, N=14) sledila zdravljenju INDIBA takoj po sprožitvi DOMS in še v naslednjih štirih dneh.

Vse meritve so bile izvedene pred DOMS (BDC) in en dan (DOMS+1), dva dni (DOMS+2), pet dni (DOMS+5) in devet dni (DOMS+9) po sprožitvi DOMS.

DOMS intervencija

DOMS smo sprožili le ob BDC, po zaključenem merjenju. DOMS smo sprožili v mišicah upogibalkah desnega kolena z uporabo izokinetičnega dinamometra (KINEO, Globus d.o.o. Italija). Preiskovanci so z levo nogo stali na dvignjeni ploščadi, desna noga pa je bila dvignjena prosto od tal. Z rokami so se držali za oporo, da je bil kolk fiksiran s čelnim naslonom, v položaju 30 stopinjskega upogiba. Po merjenju največje izometrične hotene sile (2 poskusa pri 30 stopinjah in 2 poskusa pri 45 stopinjah upogiba) je bila za ekscentrične kontrakcije uporabljena 20 % višja obremenitev. Preiskovanci so izvedli pet serij po 10 ekscentričnih krčenj z izokinetično hitrostjo 30 stopinj/sekundo od 90 stopinjskega upogibanja kolena do popolnega iztega kolena. Med serijami je bil uporabljen enominutni počitek.

INDIBA terapija

Indiba terapijo je izvajal usposobljen fizioterapevt v sproščenem ležečem položaju 15 minut po sprožitvi DOMS in pri DOMS+1, DOMS+2, DOMS+3 in DOMS+4.

Protokol je vključeval terapijo z INDIBA CT8, pri frekvenci 448 kHz, tako v kapacitivnem kot v uporovnem načinu, 20 minut na sejo, razdeljeno na 10-minutni kapacitivni način in 10-minutni uporni način, v netermičnem območju oddajanja energije. Krema Indiba Activ je bila uporabljena za zmanjšanje kožne odpornosti, za vlaženje kože in za zmanjšanje trenja med kožo in elektrodo.

Meritve

Antropometrijo smo v BDC izmerili s standardnimi orodji, lestvico in stadiometrom ter izračunali indeks telesne mase.

Telesno maščobo in mineralno gostoto kosti smo izmerili z LUNAR Prodigy DXAm tudi pri BDC.

Druge meritve smo izvedeli na BDC, DOMS+1, DOMS+2, DOMS+5 in DOMS+9, v tem vrstnem redu:

- Tenziomiografija biceps femoris (BF) in semitendinosus (ST) mišic na obeh nogah. Za namen tega poročila so predstavljeni samo rezultati desne noge. Pomembno je omeniti, da po nismo ugotovili učinka DOMS ali med skupine na levi nogi. Tenziomiografija meri mehanski odziv (odebelitev mišičnega trebuha) med izometrično kontrakcijo, ki jo povzroči eno-milisekundni največji električni monofazni pravokotni impulz. Električni impulz smo pripeljali na kožo nad trebuh mišic z dvema samolepilnima 5 cm elektrodama (PALS), anodo nameščeno 5 cm distalno in katodo nameščeno 5 cm proksimalno od merilne točke. Merilno točko smo določili na srednji točki mišičnega trebuha (BF in ST). Iz dveh shranjenih odzivov smo izračunali povprečni maksimalni odmik (Dm) ter povprečni čas zakasnitve (Td; od impulza do 10 % Dm) in čas krčenja (Tc; od 10 % do 90 % Dm).
- 7-minutno standardizirano ogrevanje je bilo sestavljeno iz 5-minutnega testa korakanja na mestu, pri čemer se vsako minuto menjava vodila noga. Nato je bila izvedena serija razteznih vaj, ki so bile osredotočene samo na zadnje stegenske mišice.
- Test dosega sede je bil izveden sedeče na tleh z iztegnjenimi nogami naravnost naprej. Čevlje so odstranili. Podplati so bili postavljeni ravno ob škatlo. Obe kolena sta bili zaklenjeni in pritisnjeni ravno na tla. Preiskovanec je s prsti segel naprej vzdolž merilne črte, kolikor je mogoče, in v tem položaju zadržal vsaj eno do dve sekundi, medtem ko smo odčitali razdaljo dosega rok. Razdalja je bila zaokrožena na najbližji cm. Doseg v višini stopal je bil 40 cm, medtem ko vrednosti, višje od 40 cm, pomenijo večji doseg od prstov na nogah. Izvedena sta bila dva poskusa in zabeležili smo povprečno razdalja. Med testom so preiskovanci poročali o rezultatih bolečine v mišicah zadnjega dela stegna z 10-točkovno vizualno analogno oceno.
- Največja voljna silovitost (MVC) je bila izmerjena na desni nogi v izometričnem dinamometru s kotom kolena, nastavljenim na 30 stopinj upogiba. Čeprav smo izmerili obe nogi, smo v tej študiji predstavili le rezultate desne noge. Pomembno je omeniti, da nismo ugotovili učinka DOMS ali razlik med skupinama na levi nogi. Preiskovanci so izvedli dva ogrevalna upogiba kolena, subjektivno določeni na 50 % in 75 % MVC, čemur so sledili trije 5-sekundni testni upogibi kolena, od koder je bil ocenjen največji 1-sekundni navor MVC. Med vsakim poskusom je bil uporabljen enominutni počitek. Pri vseh merjenjih so bili vsi preiskovanci enako spodbujani.
- Največji prirastek navora (RFD) v prvih 100 milisekundah je bila izmerjen enostransko v izometričnem dinamometru s kotom kolena, nastavljenim na 30 stopinj upogiba. Čeprav sta bili ocenjeni obe nogi, so v tej študiji predstavljeni samo rezultati desne noge. Pomembno je omeniti, da nismo ugotovili učinka DOMS ali razlik med skupinama na levi

nogi. Po MVC so preiskovanci izvedli tri 3-sekundne testne upogibe kolena z navodili za štartno povelje. Med vsakim poskusom je bil uporabljen enominutni počitek. Pri vseh merjenjih so bili vsi preiskovanci.

Statistika

Vsi podatki so navedeni s povprečnimi vrednostmi in vrednostmi standardnega odklona. Vse statistične odločitve so bile izvedene z uporabo 2-faktorskega splošnega linearnega modela, s časom (BDC, DOMS+1, DOMS+2, DOMS+5, DOMS+9) kot zaporedne meritve in skupino (CG, EG) kot neodvisne meritve. Če je bila interakcija Čas * Skupina pomembna pri $p < 0,10$, je bil uporabljen post hoc test za odkrivanje razlik v vsaki časovni točki. Če so bile razlike pri BDC, je bila za nadzor razlik BDC uporabljena analiza kovariance (ANCOVA). Nadalje je bila uporabljena serija odvisnih t-testov za razlikovanje vrnitve na vrednosti BDC v kateri koli časovni točki v vsaki skupini; vendar je bila uporabljena Bonferronijeva korekcija p-vrednosti.

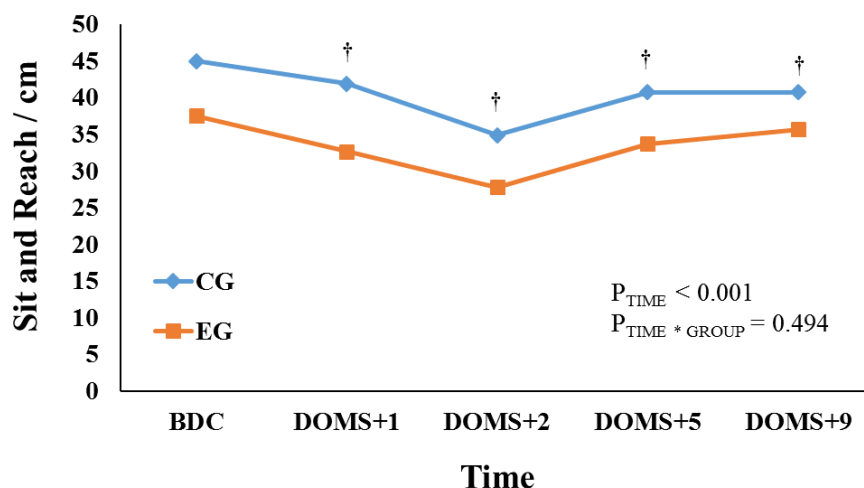
REZULTATI

Vsi preiskovanci so opravili vse meritve in ni bilo osipa, hujših poškodb ali trajnih posledic intervencij in merenj.

Doseg sede

Doseg sede se je s časom zmanjšal (od DOMS+1 do DOMS+9) (Slika 1), vendar ni bilo interakcije, ki bi kazala razlike med obema skupinama v času.

Slika 1: Doseg sede na izhodišču (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zapoznele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).

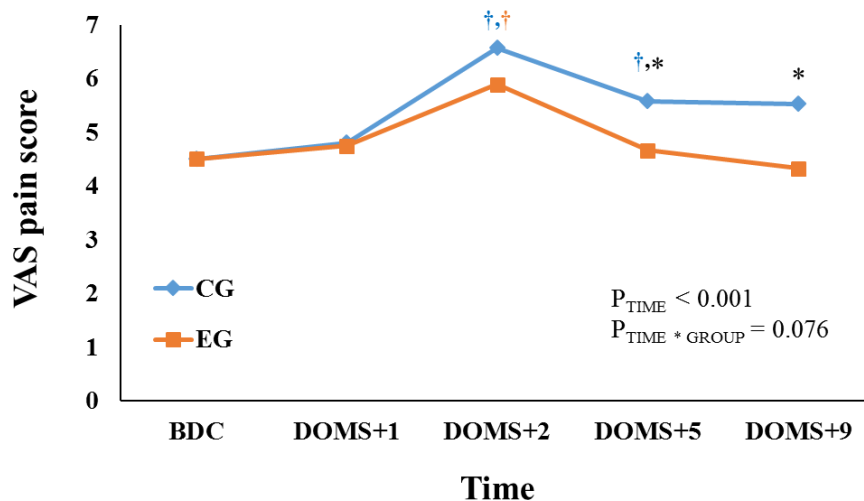


*...različno od vrednosti BDC pri $p < 0.05$

Vizualna skala bolečine

Ocena bolečine se je s časom povečevala (DOMS+2 in DOMS+5) (Slika 2), vendar smo po korekciji razlik pri BDC z uporabo ANCOVA ugotovili razlike med obema skupinama v času. V EG se je povrnila na vrednosti BDC, v CG pa se ne pri DOMS+5, medtem ko se je v DOMS+9 obema skupinama povrnil na vrednosti BDC.

Slika 2: Vizualna analogna lestvica (VAS) za bolečine v desnem zadnjem delu stegna med testom doseganja sede na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS) +5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zapoznele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).

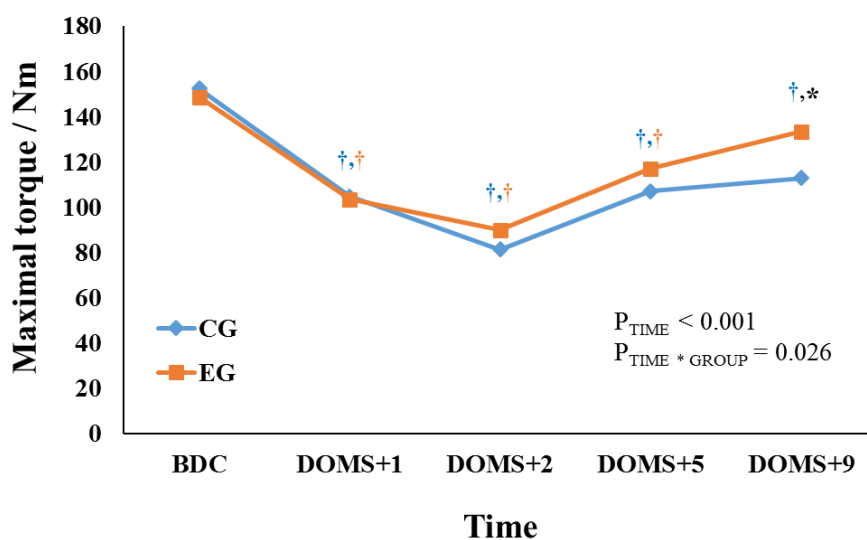


*...razlike med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti pri BDC pri $p < 0.05$.

Največji hoten navor

Največji hoteni navor se je s časom zmanjšal (Slika 3), natančneje v EG (od DOMS+1 do DOMS+5) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se je povrnil na vrednosti BDC, CG pa ne pri DOMS+9.

Slika 3: Največji hoteni navor na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9)) proženju zakasnjene bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalne skupino (EG).

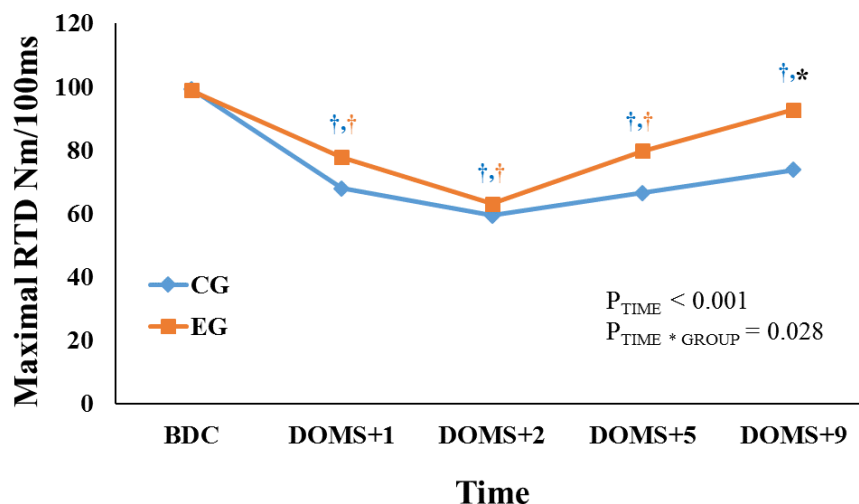


*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; †...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

Največji prirastek navora

Največji prirastek navora (v prvih 100 ms) se je s časom zmanjšala (Slika 4), natančneje v EG (od DOMS+1 do DOMS+5) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se je povrnil na vrednosti BDC, CG pa ne pri DOMS+9.

Slika 4: Največji prirastek navora na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS) +9) proženja zakasnjene bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).

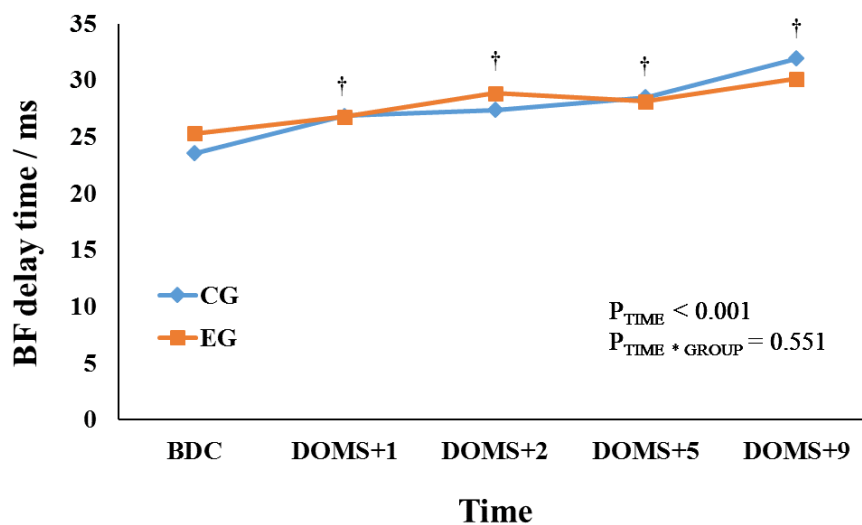


*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; †...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

Čas zakasnitve TMG

BF Td se je s časom povečal (od DOMS+1 do DOMS+9) (Slika 5), vendar ni bilo interakcije, ki bi kazala razlike med obema skupinama v času. Povečanje Td se ni povrnilo na vrednosti BDC do DOMS+9.

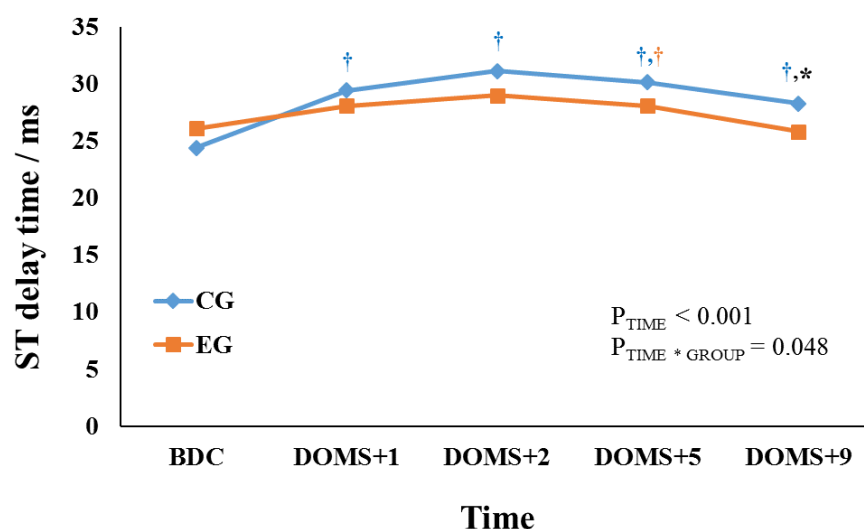
Slika 5: Tenziomiografski čas zakasnitve mišice Biceps femoris (BF) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zakasnjene bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).



†...različno od vrednosti BDC pri $p < 0.05$

ST Td se je s časom povečal (Slika 6), natančneje v EG (v DOMS+5) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se je povrnil na vrednosti BDC, CG pa ne pri DOMS+9.

Slika 6: Tenziomiografski čas zakasnitve mišice semtendinosus (ST) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zakasnjene bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).

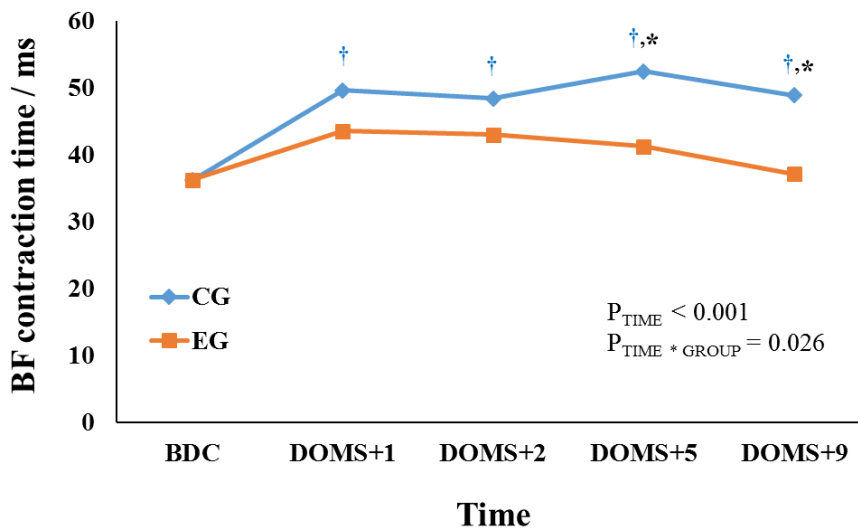


*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; †...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

TMG čas krčenja

BF Tc se je s časom povečal samo v CG (od DOMS+1 do DOMS+9) (Slika 7). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se s časom ni spremenil, medtem ko se CG ni povrnil na vrednosti BDC do DOMS+9.

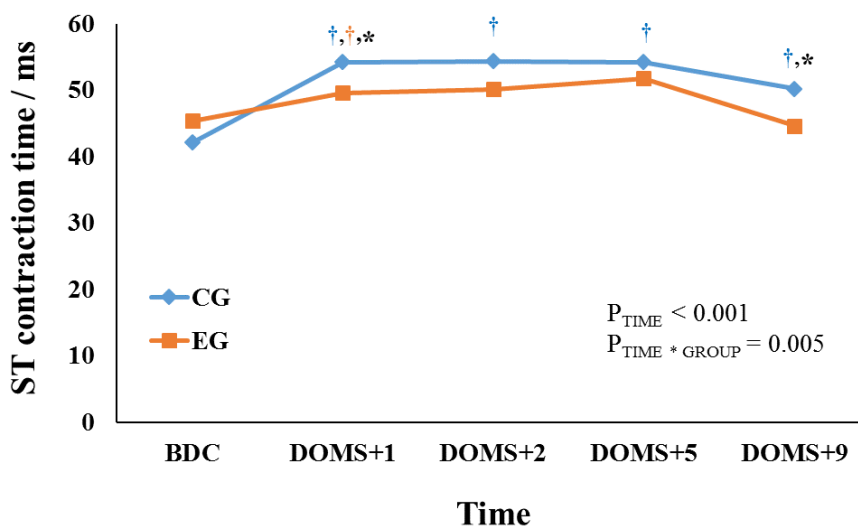
Slika 7: Tenziomiografski čas krčenja mišice biceps femoris (BF) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9- dni po (DOMS+9) proženju zakasnele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).



*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$

ST Tc se je s časom povečal (Slika 8), natančneje v EG (samo pri DOMS+1) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. V EG se je vrnil na izhodiščno vrednost BDC v DOMS+2, medtem ko se CG ni povrnil na vrednosti BDC do DOMS+9.

Slika 8: Tenziomiografski čas krčenja mišice semitendinosus (ST) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zakasnele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).

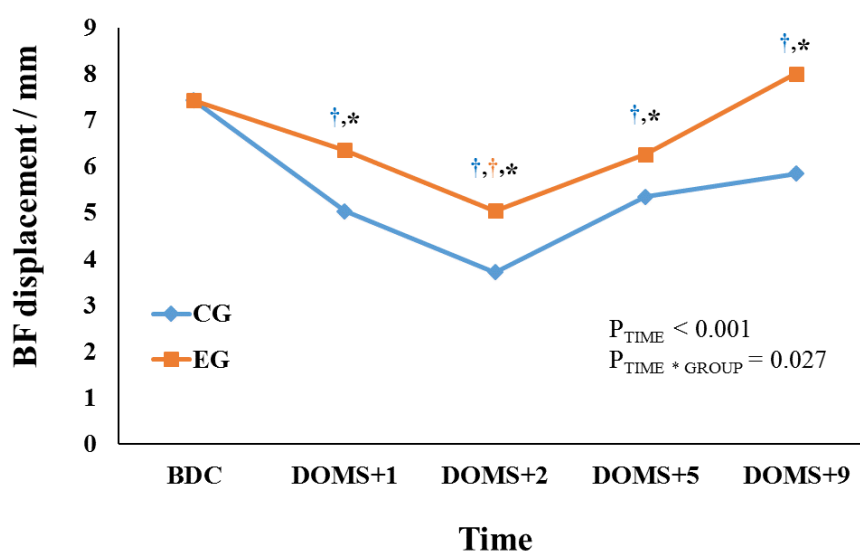


*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; †...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

TMG amplituda

BF Dm se je s časom zmanjšal (Slika 9), natančneje v EG (od DOMS+1 do DOMS+2) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se je povrnil na vrednosti BDC, CG pa ne pri DOMS+5 in DOMS+9.

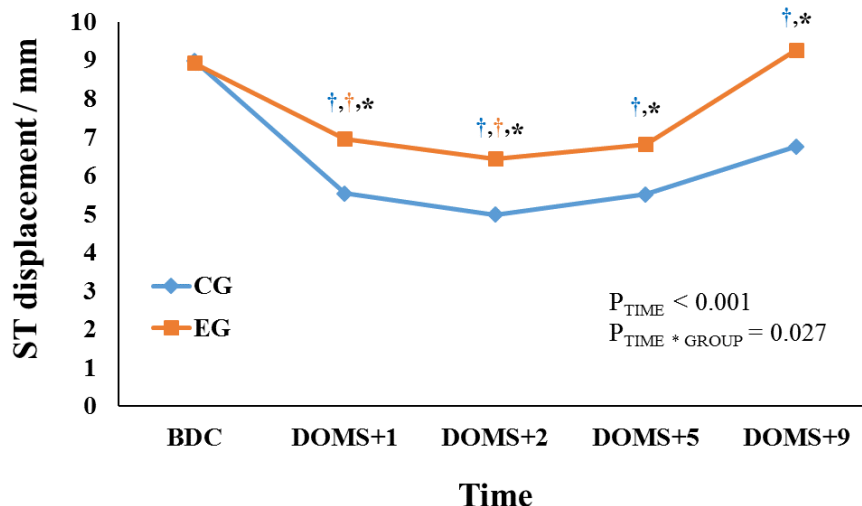
Slika 9: Tenziomiografski odmik mišice bicepsa femorisa (BF) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zakasnele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).



*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; ‡...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

ST Tc se je s časom zmanjšal (Slika 10), natančneje v EG (od DOMS+1 do DOMS+2) in v CG (od DOMS+1 do DOMS+9). Ugotovili smo interakcijo, ki je pokazala razlike med obema skupinama v času. EG se je povrnil na vrednosti BDC, CG pa ne pri DOMS+5 in DOMS+9.

Slika 10: Tenziomiografski odmik mišice semitendinosus (ST) na začetku (BDC), 1 dan po (DOMS+1), 2 dni po (DOMS+2), 5 dni po (DOMS+5) in 9 dni po (DOMS+9) proženju zakasnele bolečine v mišicah. Podatkovne linije za kontrolno (CG) in eksperimentalno skupino (EG).



*...različno med CG in EG pri $p < 0.05$; †...CG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$; ‡...EG različna od vrednosti BDC pri $p < 0.05$.

DISKUSIJA

Ugotovili smo pomemben terapevtski učinek radiofrekvenčne terapije Indiba na glavne spremenljivke študije. Čeprav se amplituda TMG (Dm) v EG ni zmanjšala že po BDC, drugi rezultati za EG kažejo nižje učinke DOMS po DOMS+5 in/ali DOMS+9.

Silovitost mišic (maksimalni in eksplozivni napor) kažejo hitrejše okrevanje pri DOMS+9 v EG v primerjavi s CG. Kljub temu so združeni preiskovanci zmanjšali največji MVC upogiba kolena za 43,2 % pri DOMS+2, kar je podobno znižanje, ugotovljeno tudi v drugih študijah po 48 urah po DOMS, npr. 35 % v upogibalkah komolca⁶, 40-55 % v iztegovalkah kolena⁷. Le nekaj študij je merilo zadnje stegenske mišice po DOMS in ugotovilo nižje znižanje sile, kot smo mi, 14 % po 48 urah⁸. Vendar pa so v študiji zadnje stegenske mišice po DOMS uporabili drug način proženja DOMS, pet serij po deset 60 cm skokov s poudarkom po iztegu telesa ob dotiku stopal s podlago. To je potrdilo resnost mišičnega vnetja DOMS v naši študiji, saj so počasnejše (30 stopinj/sekundo) maksimalne ekscentrične kontrakcije povzročile veliko večje upade proizvodnje največjega navora po DOMS. Navor in RTD sta si opomogla po 7 dneh^{6,9}, kar je bilo potrjeno tudi v naši študiji, in sicer, EG se je povrnil na vrednosti BDC pri DOMS+9, medtem ko CG ne.

Ekscentrične vaje so glavni način za nastanek DOMS, ker vodijo do vnetnega odziva, ki povzroča bolečino. Potrdili smo povečano bolečino v mišicah, ne glede na skupino, ki je dosegla vrhunec pri DOMS+2 in okrevala pri DOSM+9. Preiskovanci so opravili test gibljivosti zadnjih stegenskih mišic, da

bi ocenili bolečino mišic pri izvajanju. Pravzaprav smo ugotovili tudi zmanjšano gibljivost mišic že pri DOMS+1, ki je dosegla vrhunec pri DOMS+2 in je ostala nepopravljena do konca študije, ne glede na skupino.

Parametri TMG so bili dvakrat ovrednoteni v raziskavah DOMS^{6,10}. Vse študije, vključno z našo, so potrdile višji Tc in nižji Dm po DOMS. Natančneje, Franz in sod. (2017) so poročali o povečanem Tc mišice biceps brachii (BB) po ekscentrični vadbi za vsaj DOMS+3, saj odzivi niso bili ocenjeni v drugih časovnih točkah. Hunter in sod. (2012) poročajo o povečanem BB Tc po ekscentrični vadbi za vsaj DOMS+6, saj odzivi niso bili ocenjeni v drugih časovnih točkah. Potrdili smo povečan Tc v obeh, BF in ST za vsaj DOMS+9 v CG, medtem ko v EG samo v mišici ST pri DOMS+1. Zdi se, da terapija Indiba preprečuje spremembe kontraktibilnosti počasnih in hitrih mišičnih vlaken. Po drugi strani pa Franz in sod. (2017) poroča o zmanjšanem BB Dm za vsaj DOMS+3. Hunter in sod. (2012) so potrdili znižan BB Dm za vsaj DOMS+6. Ugotovili smo zmanjšano BF in ST Dm za vsaj DOMS+9 v CG. Vendar se v EG BF in ST Dm nista zmanjšala oziroma zmanjšala le v DOMS+1. Zato je terapija Indiba preprečila večjo togost mišic po DOMS, saj je bil v preteklosti višji Dm redno povezan z nižjo togostjo mišic¹¹⁻¹⁴. Td je bil manj raziskan v študijah DOMS. Zaenkrat so le Franz in sod. (2017) poročali o akutnem zmanjšanju Td takoj po uporabi ekscentrične vadbe za sprožitev DOMS zaradi potenciranja po aktivaciji, vendar ne več po 24 urah od proženja DOMS. Mi smo ugotovili povečan BF Td od DOMS+1 do DOMS+9 neodvisno od obeh skupin. Medtem ko se je ST Td povečal podobno v CG, vendar ne v EG. V EG se je povečal le pri DOMS+5. Ponovno je terapija Indiba preprečila latenco med električnim impulzom in začetkom mehanskega odziva; vendar le v mišici ST. Ker je mišica ST bolj počasna kot mišica BF¹⁵, je treba še ugotoviti, ali je to neskladje posledica razlik v sestavi hitrih in počasnih mišičnih vlaken.

Poleg drugih metod za spremljanje sprememb, ki jih povzroča ekscentrična vadba, kot so dinamometrija, test razpona in druge, je bila v tej študiji uporabljena TMG. TMG je relativno nova metoda merjenja kontraktibilnih lastnosti mišic, ki jo je razvil in predstavil Vojko Valenčič leta 1990. TMG je neinvazivni diagnostični test, ki daje informacije o kontraktibilnih lastnostih skeletne mišice, na primer: elektromehanska zakasnitev, hitrost krčenja mišic, mišična sestava, čas, potreben za sprostitvev po kontrakciji, vzorec rekrutiranja in potenciacija oziroma utrujenost mišic¹⁶⁻¹⁸.

ZAKLUČEK

Terapija Indiba je pokazala pomembno učinkovitost po okrevanju DOMS. Odraža se v hitrejšem okrevanju bolečine, maksimalnega navora, največjemu prirastku navora, manjšem povečanju časa krčenja mišic in manjšem povečanju togosti mišic.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Intact d.o.o. za vso strokovno podporo pri uporabi Indiba terapij. Izvedbo programa je omogočilo sofinanciranje Fundacije za šport.

LITERATURA

1. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe M, et al. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sport · Sport*. 2018;32(04):243-250. doi:10.1055/a-0753-1884
2. Zondi P, Rensburg DJ van, Grant C, Rensburg AJ van. Delayed onset muscle soreness: No pain, no gain? The truth behind this adage. *South African Fam Pract*. 2015;57(3):29-33. doi:10.4102/safp.v61i3.4969
3. Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed Onset Muscle Soreness. *Sport Med*. 2003;33(2):145-164. doi:10.2165/00007256-200333020-00005
4. Mazurek B. Clinical Application of Impact Capacitive – Resistive Electric Transfer 448 kHz on Human Cells. *Int J Biomed Sci Eng*. 2018;6(3):65. doi:10.11648/j.ijbse.20180603.12
5. Hernández-Bule ML, Paíno CL, Trillo MÁ, Úbeda A. Electric Stimulation at 448 kHz Promotes Proliferation of Human Mesenchymal Stem Cells. *Cell Physiol Biochem*. 2014;34(5):1741-1755. doi:10.1159/000366375
6. Hunter AM, Galloway SD, Smith IJ, et al. Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(3):334-341. doi:10.1016/j.jelekin.2012.01.009
7. Miyama M, Nosaka K. Muscle Damage and Soreness Following Repeated Bouts of Consecutive Drop Jumps. *Adv Exerc Sport Physiol*. 2004;10(3):63-69.
8. Sarabon N, Panjan A, Rosker J, Fonda B. Functional and neuromuscular changes in the

- hamstrings after drop jumps and leg curls. *J Sports Sci Med*. 2013;12(3):431-438.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149148>.
9. Goodall S, Howatson G. The effects of multiple cold water immersions on indices of muscle damage. *J Sports Sci Med*. 2008;7(2):235-241.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149455>.
 10. FRANZ A, BEHRINGER M, HARMSEN J-F, et al. Ischemic Preconditioning Blunts Muscle Damage Responses Induced by Eccentric Exercise. *Med Sci Sport Exerc*. 2018;50(1):109-115.
doi:10.1249/MSS.0000000000001406
 11. Šimunič B, Koren K, Rittweger J, et al. Tensiomyography detects early hallmarks of bed-rest-induced atrophy before changes in muscle architecture. *J Appl Physiol*. 2019;26(4):815-822.
doi:10.1152/jappphysiol.00880.2018
 12. Zubac D, Paravlič A, Koren K, Felicita U, Šimunič B. Plyometric exercise improves jumping performance and skeletal muscle contractile properties in seniors. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2019.
 13. Zubac D, Šimunič B. Skeletal Muscle Contraction Time and Tone Decrease After 8 Weeks of Plyometric Training. *J strength Cond Res*. 2017;31(6):1610-1619.
doi:10.1519/JSC.0000000000001626
 14. Pišot R, Narici M V, Šimunič B, et al. Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104(2):409-414. doi:10.1007/s00421-008-0698-6
 15. Johnson MA, Polgar J, Weightman D, Appleton D. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci*. 1973;18(1):111-129.
doi:10.1016/0022-510X(73)90023-3
 16. Šimunic B, Degens H, Rittweger J. Noninvasive Estimation of Myosin Heavy Chain Composition in Human Skeletal Muscle. *Med Sci Sport Exerc Sport Exerc*. 2011;d(February):27-30.
doi:10.1249/MSS.0b013e31821522d0
 17. Macgregor LJ, Hunter AM, Orizio C, Fairweather MM, Ditroilo M. Assessment of Skeletal Muscle Contractile Properties by Radial Displacement: The Case for Tensiomyography. *Sport Med*. 2018:1607-1620. doi:10.1007/s40279-018-0912-6
 18. Paravlič A, Zubac D, Šimunič B. Reliability of the twitch evoked skeletal muscle electromechanical efficiency: A ratio between tensiomyogram and M-wave amplitudes. *J*



Electromyogr Kinesiol. 2017;37:108-116. doi:10.1016/j.jelekin.2017.10.002

Prof. dr. Boštjan Šimunič
Vodja projekta

prof. dr. Rado Pišot
Direktor