

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT



Kineziologija

**ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA  
PO MAKSIMALNEM IZOMETRIČNEM NAPREZANJU**

Diplomsko delo

MENTOR

doc. dr. Igor Štirn, prof. šp. vzg.

RECENZENT

prof. dr. Vojko Strojnik, prof. šp. vzg.

Avtor dela

BLAŽ STAN

Ljubljana, 2015

## **ZAHVALA**

Za pomoč, usmerjanje in nasvete pri izdelavi diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Igorju Štirnu, profesorici dr. Katji Tomažin in recenzentu prof. dr. Vojku Strojniku.

Zahvala gre vsem merjencem, ki so sodelovali pri raziskavi. Hvaležen sem za trud in sodelovanje, ki so jih izkazali. Brez njih raziskava in tako tudi pričujoče diplomsko delo ne bi bila mogoča.

Za nasvete in prijateljsko pomoč bi se rad zahvalil kolegici študentki Katji Kepic.

Iskreno se zahvaljujem očetu Robiju in mami Maji, ki sta mi vedno stala ob strani. Hvala tudi bratoma Juretu in Jakobu za tehnično pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Za podporo in oporo v vseh trenutkih nastajanja diplomskega dela se zahvaljujem moji punci Ani.

Hvala vsem, ki ste mi stali ob strani in verjeli vame skozi pretekla leta dodiplomskega študija.

**Ključne besede:** živčno-mišična postaktivacijska potenciacija, dolgotrajna živčno-mišična potenciacija, maksimalno izometrično naprezanje, skok z nasprotnim gibanjem

## **ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA PO MAKSIMALNEM IZOMETRIČNEM NAPREZANJU**

Blaž Stan

### **IZVLEČEK**

Namen diplomskega dela je bil preučevanje učinkov maksimalnega izometričnega naprezanja na živčno-mišično potenciacijo. Cilj, ki smo si ga zastavili je bil dokazati možnost izboljšanja delovanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije po predhodnem maksimalnem izometričnem naprezanju. Zanimalo nas je ali lahko učinki živčno-mišične potenciacije povzročene z maksimalnim izometričnim naprezanjem izboljšajo športni nastop takoj po, dvanajst ur po in štiriindvajset ur po potenciranju. Da bi to preverili, smo izvedli raziskavo z dvanajstimi merjenci (tri ženske, devet moških;  $22,9 \pm 1,2$  leti;  $77,8 \pm 9,7$  kg). Merjenci so izvedli dva protokola; kontrolni in eksperimentalni protokol. Kontrolni protokol je zajemal meritve brez intervencije, eksperimentalni protokol pa meritve z intervencijo, ki naj bi povzročila živčno-mišično potenciacijo. Vsak protokol je zajemal tri meritve: prva meritev, ponovljena meritev čez dvanajst ur in ponovljena meritev čez štiriindvajset ur. Intervencijo je vključevala samo prva meritev eksperimentalnega protokola. Intervencija je obsegala tri serije po dve ponovitvi maksimalnega izometričnega počepa dolgi šest sekund izvedenega v nožni preši. Meritvena naloga je bila skok z nasprotnim gibanjem, ki smo ga merili na tenziometrijski plošči. Merili smo več parametrov med katerimi je bil glavni višina skoka. Rezultati niso pokazali statistično značilnih razlik pri spremembah višin skokov in pri spremembah vrednosti ostalih parametrov takoj po, dvanajst ur po in štiriindvajset ur po intervenciji, če primerjamo s skoki izvedenimi v istem času pri protokolu brez intervencije. Pri dokazovanju kratkotrajnega vpliva potenciacije je bil problem verjetno v preveliki količini predhodne aktivnosti. Glede na rezultate ne moremo trditi, da ima maksimalno izometrično naprezanje pozitiven vpliv na kratkotrajno in dolgotrajno živčno-mišično potenciacijo.

**Keywords:** neuromuscular post-activation potentiation, long-term muscle potentiation, maximal isometric contraction, counter movement jump

## NEUROMUSCULAR POTENTIATION AFTER MAXIMAL ISOMETRIC MUSCLE CONTRACTION

Blaž Stan

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of the maximum isometric contraction on post-activation potentiation. Our goal was to prove the possibility of improvement in muscular performance as a consequence of the effects of post-activation potentiation after preliminary maximum isometric contraction. We wanted to see if the effects of post-activation potentiation induced by a maximum isometric contraction can improve muscular performance immediately after the potentiation and twelve and twenty-four hours after the potentiation. In order to examine this issue a research which included twelve subjects (three female, nine male;  $22,9 \pm 1,2$  years;  $77,8 \pm 9,7$  kg) was conducted. Subjects were put through two protocols; the control protocol and the experimental protocol. The control protocol included measurements without intervention while the experimental one comprised measurements with the intervention that should cause post-activation potentiation. Each protocol included three measurements: the first measurement, the repeated measurement after twelve hours and the repeated measurement after twenty-four hours. The intervention took part only in the first measurement of the experimental protocol. The intervention covered three series of two repetitions of maximum isometric squat each lasting six seconds performed in a leg press machine. The testing task that was measured was counter movement jump (CMJ) which was measured by a force platform. Different parameters were measured among which the jump height was the main one. The results did not show statistically significant differences in the height of the jumps and statistically significant differences in any other parameter immediately after, twelve hours after and twenty-four hours after the intervention if we compare them with the jumps performed at the same time of the protocol without the intervention. When proving the short-term effect of post-activation potentiation the problem was probably in exceeded volume of preliminary maximum isometric contraction. According to the results, we are not able to confirm that the maximum isometric contraction has an effect on short-term or long-term effects of post-activation potentiation.

# Vsebinsko kazalo

1	UVOD.....	1
1.1	MIŠIČNO NAPREZANJE .....	2
1.2	MEHANIZMI ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE .....	3
1.2.1	Fosforilacija luhkih regulacijskih miozinskih verig.....	3
1.2.2	Povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot.....	4
1.2.3	Spremembe v kotu penacije .....	5
1.3	SPREMENLJIVKE, KI VPLIVAJO NA ŽIVČNO-MIŠIČNO POTENCIACIJO .....	5
1.3.1	Intenzivnost predhodnega naprezanja.....	5
1.3.2	Odnos med živčno-mišično potenciaciijo in živčno-mišično utrujenostjo .....	6
1.3.3	Tip predhodnega naprezanja .....	7
1.3.4	Značilnosti posameznika.....	8
1.3.5	Tip aktivnosti, ki sledi predhodnemu naprezanju .....	9
1.4	MOŽNOST UPORABE ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE V PRAKSI IN VPRAŠANJE DOLGOROČNEGA UČINKA ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE .....	9
1.5	IZOMETRIČNO NAPREZANJE .....	10
1.6	SKOK Z NASPROTNIM GIBANJEM (CMJ) .....	10
1.7	CILJI IN HIPOTEZE.....	13
2	METODE DELA .....	14
2.1	Preizkušanci.....	14
2.2	Pripomočki .....	14
2.3	Postopek .....	14
2.4	Statistična analiza podatkov .....	19
3	REZULTATI.....	20
3.1	Višina skoka (cm) z nasprotnim gibanjem (VSC).....	20
3.2	Vertikalna hitrost odriva (m/s) skoka z nasprotnim gibanjem (VTO).....	21
3.3	Čas odriva (s) skoka z nasprotnim gibanjem (POT) .....	22
3.4	Povprečen pospešek ( $m/s^2$ ) med skokom z nasprotnim gibanjem (A) .....	24
3.5	Največja relativna moč med skokom z nasprotnim gibanjem (MaxP) .....	25
3.6	Največja relativna sila ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem – največja relativna sila zaviranja (MaxFCM) .....	26

3.7	Največja relativna sila koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem MaxFPO .....	28
4	RAZPRAVA.....	31
5	SKLEP .....	35
6	VIRI.....	37

## 1 UVOD

Sposobnost mišice, da ustvari silo, je v veliki meri odvisna od njenega predhodnega naprezanja, torej njene kontraktilne zgodovine. Živčno-mišična utrujenost je seveda najbolj logična in pričakovana reakcija mišice na predhodno naprezanje in bi jo lahko opisali kot zmanjšanje sile, ki jo je mišica sposobna ustvariti. Predhodno mišično naprezanje pa lahko hkrati ali brez utrujanja povzroči tudi začasno izboljšanje mišične funkcije, ki se imenuje živčno-mišična potenciacija. Utruenost in živčno-mišična potenciacija sta pojava, ki lahko soobstajata.

Potenciacija pride do izraza v pogojih, ko se utrujenost še ne pojavi v zadostni meri ali pa, ko se mišična utrujenost že poleže, učinek potenciacije pa je še vedno izražen (Hodgson, Docherty in Robbins, 2005).

Živčno-mišično ali po-aktivacijsko potenciacijo povzroči zavestno mišično naprezanje izvedeno z maksimalno ali sub-maksimalno intenzivnostjo (Tillin in Bishop, 2009). Vzrok za živčno-mišično potenciacijo je lahko tudi nehoteno mišično naprezanje. Tak način povzročanja potenciacije je značilen za številne raziskave, ki preučujejo mehanizme potenciacije. Na podlagi ugotovitev večih avtorjev je eden glavnih mehanizmov fosforilacija luhkih regulacijskih miozinskih verig, omenjeni pa so tudi drugi kot recimo povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot (tiste, ki se rekrutirajo hitreje) (Hodgson idr., 2005; Tillin in Bishop, 2009) in sprememba v kotu penacije (Tillin in Bishop, 2009). Več o mehanizmih živčno-mišične potenciacije bomo razpravljali v naslednjih poglavijih.

Živčno-mišična potenciacija torej začasno izboljša delovanje mišice kar se pozna na prirastku najvišje sile in v prirastku hitrosti razvoja sile. Odnos potenciacija-utrujanje, torej ali bo sama potenciacija prišla do izraza ali ne, pa je odvisen od večih spremenljivk in sicer: količine in intenzivnosti predhodnega naprezanja, počitka po predhodnem naprezanju in tipa naprezanja, tipa aktivnosti, ki sledi in na kateri naj bi se potenciacija izrazila in pa seveda posameznikovih značilnostih. (Tillin in Bishop, 2009).

Glede na Hodgsona in druge (2005) naj bi učinek živčno-mišične potenciacije imel največji vpliv na kasnejšo vzdržljivostno vadbo, predvsem pa na vadbo, ki vključuje gibalne naloge za katerih izvedbo sta pomembni gibalni sposobnosti hitrost in moč.

V naši raziskavi se bomo merjenja živčno-mišične potenciacije lotili z mertivami skoka z nasprotnim gibanjem pri katerem gre za ekscentrično koncentrično naprezanje. Poleg same višine skoka kot glavne spremenljivke bomo merili še nekaj drugih spremenljivk. Tak tip gibanja, ki je hiter in eksploziven, je tako primeren za ugotavljanje omenjenega pojava. Za intervencijo, ki naj bi povzročila pričakovano potenciacijo bomo uporabili maksimalno izometrično naprezanje. V raziskavi bomo poleg kratkoročnega učinka živčno-mišične potenciacije merili tudi dolgoročni učinek, ki naj bi se izrazil kot dolgotrajna potenciacija oziroma izboljšanje mišične funkcije tudi dlje časa po predhodni aktivaciji mišic. Učinek dolgotrajne potenciacije bomo merili 12 in 24 ur po začetnih meritvah. Obstaja veliko raziskav na temo živčno-mišične potenciacije (ang. post-activation potentiation oziroma krajše PAP) vendar pa je malo oz. skoraj nič raziskanega na področju t.i. dolgotrajne potenciacije.

Za lažje razumevanje fiziološkega ozadja in mehanizmov živčno-mišične potenciacije si bomo najprej pogledali osnovne značilnosti mišičnega naprezanja.

## 1.1 MIŠIČNO NAPREZANJE

Mišice so molekularne strukture, ki pretvarjajo kemično energijo v mišično silo (Enoka, 2015). Ena od temeljnih lastnosti mišic je kontraktilnost, kar se odraža v spremembi dolžine mišice. Mišično naprezanje se zares dogaja na ravni sarkomere, ki je osnovna kontraktilna enota mišice.

Sarkomera je preplet tankih in debelih miofilamentov, ki so sestavljeni iz večih kontraktilnih proteinov. Tanki miofilamenti so po večini sestavljeni iz molekul aktina, vključujejo pa tudi proteina tropomiozin in troponin, ki ju imenujemo regulatorna proteina, saj omogočata interakcijo med aktinom in miozinom in tako regulirata mišično naprezanje. Tanki miofilamenti so zgrajeni iz dveh spiralnih verig fibroznega aktina (ang. fibrous actin), regulatorna proteina pa se nahajata v žlebičih med globularnim aktinom (ang. globular actin), ki tvori spiralne verige fibroznega aktina. Debeli miofilamenti so večinsko iz miozina in so prav tako sestavljeni iz dveh spiralnih verig. Spiralni verigi sta zgrajeni iz t.i. težkega miozina (ang. myosin heavy chains) in se nadaljujeta v vsak po eno esencialno lahko miozinsko verigo (ang. essential myosin light chain) in po eno regulacijsko lahko miozinsko verigo (ang. regulatory myosin light chain)- slednja pride v upoštev pri mehanizmih živčno-mišične potenciacije. Verigi miozinskih molekul se končata z dvema globularnima glavicama, ki imata vsaka po eno mesto za vezavo z molekulo adenozin trifosfata (ATP), mesto za vezavo z aktinom in mesto za hidrolizo ATP-ja (Enoka, 2015).

Za razumevanje mišičnega naprezanja so pomembni še sarkoplazemski retikulum in transverzalne T-tubule oz. cevčice. Sarkoplazemski retikulum teče vzporedno z mišičnimi vlakni in vsebuje zaloge kalcija ( $\text{Ca}^{+2}$ ), ki sodeluje pri naprezanju. T-tubule so transverzalne poti akcijskega potenciala v notranjost mišice in omogočajo hitrejši prenos akcijskega potenciala do miofilamentov oz. kontraktilnih proteinov (Enoka, 2015).

Mišico moramo vedno razumeti kot živčno-mišično celoto, ker se proces mišičnega naprezanja začne z akcijskim potencialom, ki do mišice pripotuje po motoričnem nevronu (od tu tudi živčno-mišična potenciacija). Na živčno-mišičnem stiku ali na motorični ploščici se živčni akcijski potencial preko nevrotransmiterja acetilholina prenese na membrano mišične celice ali na sarkolemo. Akcijski potencial nato nadaljuje svojo pot po transverzalnih T-tubulih in povzroči sproščanje  $\text{Ca}^{+2}$  iz sarkoplazemskega retikuluma v sarkoplazmo. Ob dovolj visoki koncentraciji  $\text{Ca}^{+2}$  se le ta veže na troponin kar dovoljuje interakcijo aktina in miozinske glavice. Tako se vzpostavijo prečni mostiči, ki so v bistvu naprezanje mišice. Za prekinitev prečnega mostiča je potrebna molekula ATP-ja. Samo mišično naprezanje se konča z vračanjem  $\text{Ca}^{+2}$  nazaj v sarkoplazemski retikulum (Enoka, 2015).

## 1.2 MEHANIZMI ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE

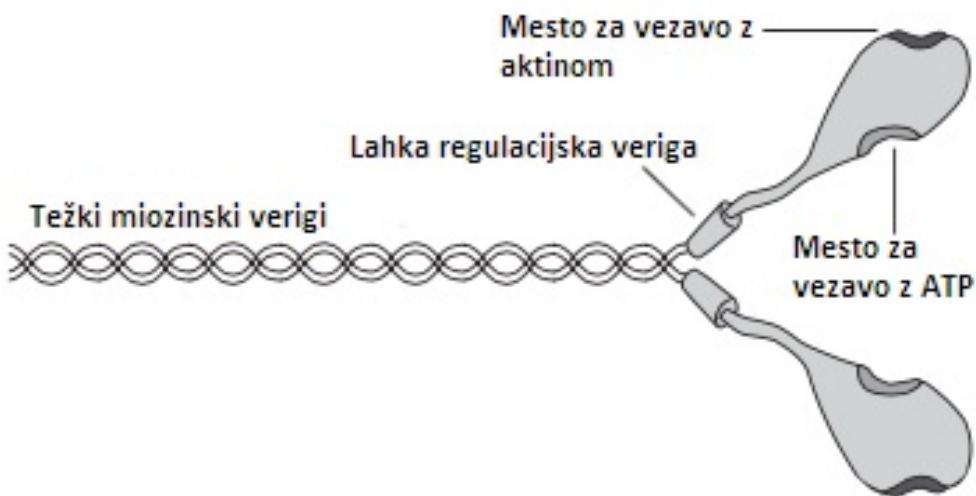
Raziskave kažejo, da obstajata dva glavna mehanizma potenciacije in sicer:

- fosforilacija lahkih regulacijskih miozinskih verig in
- povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot (tiste motorične enote, ki se rekrutirajo hitreje).

Obstajajo tudi dokazi, ki nakazujejo, da naj bi spremembe v kotu penacije prav tako pripomogle k pojavu potenciacije (Tillin in Bishop, 2009).

### 1.2.1 Fosforilacija lahkih regulacijskih miozinskih verig

Kot že omenjeno, se vsaka izmed težkih miozinskih spiralnih verig konča z globularno glavico pred katero se nahaja tudi lahka regulacijska miozinska veriga. Slika 1 prikazuje molekulo miozina na kateri so označeni njeni posamezni deli, vključno z za potenciacijo pomembno lahko regulacijsko verigo. Vsaka lahka regulacijska veriga ima specifično mesto za vezavo fosfatne molekule. Fosforilacijo lahkih regulacijskih verig katalizira encim RLC kinaza, ki se aktivira, ko se v sarkolemu iz sarkoplazemskega retikuluma med samim mišičnim naprezanjem spustijo molekule  $\text{Ca}^{+2}$ , ki so vezane na regulacijski protein kalmodulin. Fosforilacija omenjene lahke regulacijske verige naj bi potencirala prihajajoča mišična naprezanja s spremembami strukture miozinske globularne glavice in spremembo njenega položaja saj jo potisne stran od težjega dela filamenta. Prav tako je bilo dokazano, da fosforilacija lahkih regulacijskih verig povzroči večjo občutljivost interakcije med aktinom in miozinom na sarkoplazemski  $\text{Ca}^{+2}$  (Tillin in Bishop, 2009).



Slika 1: Molekula miozina (Tillin in Bishop, 2009).

Številne raziskave na živalih so pokazale povišanje fosforilacije lahkih regulacijskih verig in vzporedne potenciacijske napetosti skrčka po tetanični stimulaciji specifičnih eferentnih živčnih vlaken (Manning in Stull, 1982; Moore in Stull, 1984). Tovrstne študije na ljudeh so redkejše, vendar pa je Stuart s sodelavci (1988) zabeležil statistično značilen dvig vsebnosti fosfata na lahkih regulacijskih verigah v mišici vastus lateralis in značilno potenciacijsko skrčko mišic iztegovalk kolena po deset sekundnem zavestnem maksimalnem izometričnem naprezanju. Na

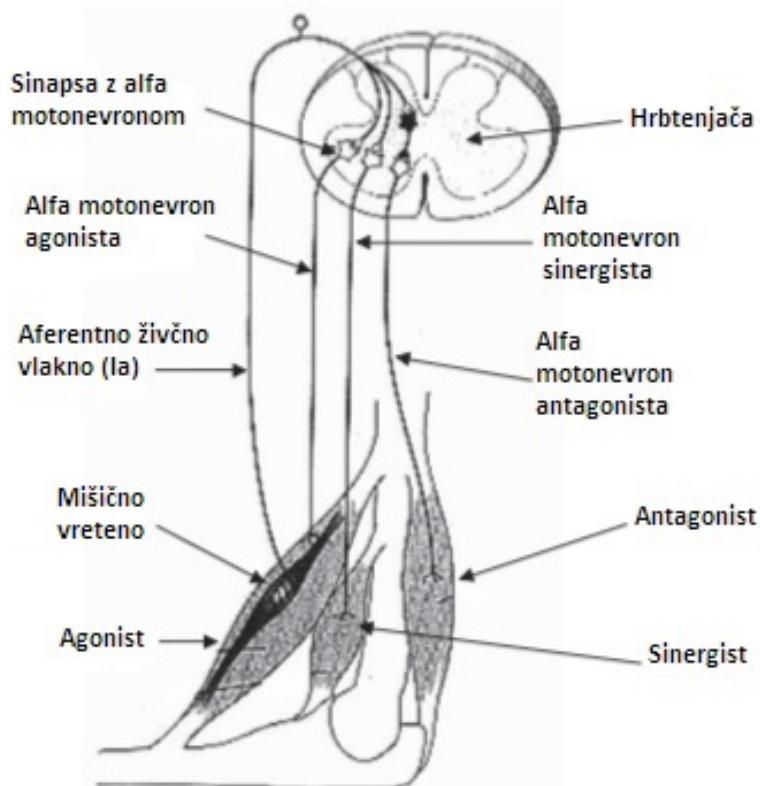
drugi strani pa tega v podobni raziskavi s človeškimi merjenci ni uspelo dokazati Smith in Fryu (2007).

Odgovor zakaj rezultati raziskav fosforilacije lahkih regulacijskih verig niso tako usklajeni pri človeških merjencih kot pri živalskih je verjetno v metodoloških faktorjih in razlikah v distribuciji tipa mišičnih vlaken med ljudmi in živalmi (Tillin in Bishop, 2009).

### 1.2.2 Povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot

Naslednji mehanizem živčno-mišične potenciacije ima za razliko od mehanizma fosforilacije lahkih regulacijskih verig, ki deluje na nivoju mišice, področje svojega delovanja na nevralnem delu živčno-mišičnega kompleksa. Kot opomba, z označbo hitrejše motorične enote se navezujemo na tiste motorične enote, ki se rekrutirajo hitreje.

Izzvana izometrična tetanična kontrakcija, ki stimulira določen aferentni živec, kateri posledično aktivira sosednji  $\alpha$ -motonevron, povzroči povečanje prenosa akcijskega potenciala preko sinaps v hrbtenjači. Gre za prilagojeno stanje, ki lahko traja samo nekaj minut po tetanični kontrakciji. To prilagojeno stanje omogoča boljši prenos potenciala med aktivnostmi, ki sledijo in se odraža v povečanju posinaptičnih potencialov za isti predsinaptični potencial (Tillin in Bishop, 2009). Za lažjo predstavo nam slika 2 shematično prikazuje oživčenost mišice z aferentnimi in eferentnimi mišičnimi vlakni.



Slika 2: Slika s preprosto shemo prikazuje oživčenost mišic agonista, antagonista in sinergista (afferentna in eferentna živčna vlakna) ter povezavo s centralnim živčnim sistemom (Tillin in Bishop, 2009).

Odpoved nevrotransmiterja na različnih sinaptičnih stičiščih je običajen pojav pri refleksnih in tudi zavestnih odzivih in jo povzroča avtonomno zavarovanje aktivacijske rezerve (ang. autonomously protected activation reserve). Glede na raziskave pa se nakazuje, da povzročena tetanična kontrakcija, kot predhodna aktivnost, zmanjšuje odpoved nevrotransmiterja, kar povzroči eden ali kombinacija večih možnih odgovorov na to kontrakcijo. Ti so: povečanje količine sproščenega nevrotransmiterja, izboljšanje učinkovitosti nevrotransmiterja in/ali zmanjšanje odpovedi živčnih končičev aksona vzdolž aferentnih živčnih vlaken (Tillin in Bishop, 2009).

### **1.2.3 Spremembe v kotu penacije**

Tretji izmed predlaganih mehanizmov potenciacije pa se veže na mišično arhitekturo in na spremembo le te zaradi mišičnega naprezanja. Kot med snopi mišičnih vlaken in notranjo aponevrozno se imenuje kot penacije in je tisti, ki orientira mišična vlakna v odnosu s kito. To posledično vpliva na prenos sile iz mišic oz. mišično-tetivnega kompleksa na kosti. Manjši penacijski kot predstavlja mehanično prednost glede na prenos sile iz mišice na vezivno tkivo. Seštevek sile, ki jo proizvedejo vsa mišična vlakna, je potrebno pomnožiti s cosinusom penacijskega kota. Raziskava, ki so jo izvedli Mahlfeld in sodelavci (2004) je pokazala, da se kot penacije takoj po tri sekundnem maksimalnem izometričnem naprezanju ni bistveno spremenil, so pa zasledili statistično značilne spremembe po treh do šestih minutah, ko pa se je kot značilno zmanjšal. Ta sprememba je povečala mišično silo za samo 0,9%, ampak je povsem možno, da je to eden od učinkov, ki pripomorejo k živčno-mišični potenciaciji (Tillin in Bishop, 2009).

Mehanizmi živčno-mišične potenciacije jasno nakazujejo, da gre za večstopenjski pojav, ki je odvisen od dogajanja tako na nivoju mišice kot na nivoju živčevja. To je sveda pričakovano, glede na to, da gibanja ne povzroča mišica sama pač pa je rezultat živčno-mišičnega delovanja.

## **1.3 SPREMENLJIVKE, KI VPLIVAJO NA ŽIVČNO-MIŠIČNO POTENCIACIJO**

Končni učinek predhodnega naprezanja, torej ali bo živčno-mišična potenciacija prišla do izraza ali ne, je odvisen od večih spremenljivk katere so:

- intenzivnost predhodnega naprezanja
- količina predhodnega naprezanja
- trajanje počitka po predhodnem naprezanju
- tip predhodnega naprezanja
- posameznikove značilnosti in
- tip aktivnosti, ki jo bomo izvajali po predhodnem naprezanju (Tillin in Bishop, 2009; Hodgson idr., 2005).

### **1.3.1 Intenzivnost predhodnega naprezanja**

Čeprav verjetno vsakršna mišična aktivnost v neki meri sproži mehanizme živčno-mišične potenciacije in posledično izboljša mišično funkcijo, pa so si študije enotne glede tega, da je za optimalno potenciacijo potrebno mišično naprezanje maksimalne intenzivnosti (Tillin in Bishop, 2009).

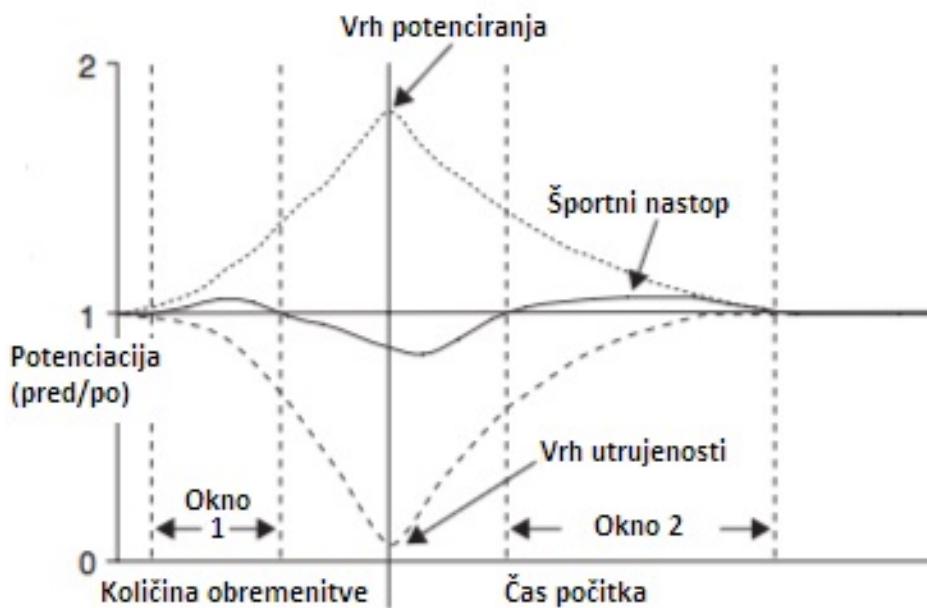
Raziskava pri kateri so uporabili izometrična naprezanja, ki so bila manjša od 75% maksimalne kontrakcije (ang. MVC) je pokazala, da taka naprezanja povzročijo zelo majhen potenciacijski odziv mišice ali pa ga sploh ne (Vandervoort, Quinlan in McComas, 1983).

### **1.3.2 Odnos med živčno-mišično potenciacijo in živčno-mišično utrujenostjo**

Količina aktivnosti je opredeljena s številom serij in ponovitev v vsaki seriji ter z intervalom počitka, ki sledi. Prav tako je količina tista (glede na to, da smo že spoznali, da so za optimalno potenciacijo potrebna naprezanja maksimalne intenzivnosti tako, da je ta spremenljivka že določena), ki določa nastop pojava utrujenosti. Zato bomo vpliv spremenljivk, kot sta količina predhodnega naprezanja in počitek po predhodnem naprezanju obravnavali skupaj. Njun vpliv na potenciacijo si bomo pogledali tudi na odnosu živčno-mišična potenciacija – živčno-mišična utrujenost.

Vandervoort idr. (1983) so ugotovili, da je bila potenciacija skrčka najvišja po maksimalni izometrični kontrakciji dolgi 10 sekund, medtem ko so daljša naprezanja povzročila tolikšno utrujenost, da je bil učinek potenciacije že delno zmanjšan. S temi rezultati sovpada tudi druga raziskava pri kateri so merili skrček dorzalnih fleksorjev v skočnem sklepu. Uporabili so pet različnih protokolov z različno dolgimi maksimalnimi izometričnimi kontrakcijami; najvišja potenciacija skrčka se je pokazala po deset sekundnem izometričnem naprezanju (Tillin in Bishop, 2009).

Zanimivo raziskavo s protokolom utrujanja, ki govori o odnosu količine in počitka do poaktivacijske potenciacije, so izvedli Hamada, Sale in MacDougall (2003). Uporabili so protokol utrujanja s 16 pet sekundnimi maksimalnimi izometričnimi kontrakcijami iztegovalk kolena, med katerimi je bil tri sekunde dolg interval počitka. Pred pričetkom izvajanja naprezanj, med vsakim naprezzanjem, eno minuto po naprezzanjih in od tukaj naprej na vsako drugo minuto še naslednjih 13 minut so merili skrček omenjenih mišic. Navor skrčka je naraščal skozi prve tri maksimalne izometrične kontrakcije. To nakazuje na to, da je bila potenciacija na začetku večja od utrjenosti, ko je bila količina aktivnosti še majhna. Pri nadaljnjih kontrakcijah se je navor progresivno manjšal in pričakovano dosegel najnižjo vrednost po šestnajsti ponovitvi. To nakazuje na to, da se je z večanjem obremenitve večala tudi nadvlada utrujanja nad potenciacijo. Z meritvami so nadaljevali po protokolu utrujanja in ugotovili povečanje navora ponovno po 30-120 sekundah po zadnji maksimalni izometrični kontrakciji. Zadnja ugotovitev pa nakazuje na to, da učinki utrujanja izginjajo hitreje od učinkov potenciacije.



**Slika 3: Model hipotetičnega odnosa med živčno-mišično potenciacijo in živčno-mišično utrujenostjo po določeni predhodni aktivnosti (Tillin in Bishop, 2009).**

Rezultati torej nakazujejo na možnost, da se učinki živčno-mišične potenciacije razvijejo hitreje od učinkov utrujanja in bi se njihova uporabnost tako lahko izkazala takoj po razmeroma nizko količinski aktivnosti (predhodni aktivnosti). Na sliki 3 to predstavlja okno 1. Ko pa se količina aktivnosti veča, se z njo tudi utrujenost in njena »premoč« nad potenciacijo. Zato pa je potreben določen čas počitka, da se učinki potenciacije spet izrazijo. Na sliki 3 to predstavlja okno 2, kjer je videti, da učinki potenciacije izzvenijo kasneje od učinkov utrujenosti, posledično pa se izboljša tudi športni nastop. (Tillin in Bishop, 2009).

### 1.3.3 Tip predhodnega naprezanja

Čeprav naj bi teoretično vsako mišično naprezanje povzročilo živčno-mišično potenciacijo, pa je stopnja do katere bo le ta izražena najverjetneje pogojena s tipom mišičnega naprezanja. Največ raziskav se je ukvarjalo z vplivom izometrične ali ekscentrično-koncentrične kontrakcije na potenciacijo. Nekatere od raziskav z izometričnim naprezanjem so pokazale potenciacijo, nekatere ne. Enako velja za raziskave z ekscentrično-koncentričnim naprezanjem; rezultati so si tako nenenotni, včasih celo navzkrižni (Tillin in Bishop, 2009).

Glede na Tillina in Bishopa (2009) naj bi samo ena študija neposredno primerjala vpliv izometrične in ekscentrično-koncentrične kontrakcije na po-aktivacijsko potenciacijo in je za nas še toliko bolj zanimiva saj je v marsičem podobna naši raziskavi. Tako kot raziskava, ki smo jo izvedli mi, je tudi ta raziskava za merjenje potenciacije uporabila skok z nasportnim gibanjem (CMJ) in pa izometrično ter ekscentrično-koncentrično naprezanje kot intervencijo. Poročali so o statistično značilnem višjem skoku z nasprotnim gibanjem (2,9%; p<0,01) in značilno večji največji moči (8,7%; p<0,001) 3 minute po treh 3-sekundnih izometričnih počepih, medtem ko tri minute po dinamičnih počepih z obremenitvijo 3RM niso zasledili statistično značilne višine skoka z nasprotnim gibanjem, so pa zabeležili statistično značilno

spremembo največji moči skoka (8.0%; p<0,001). Avtorji so tako zaključili, da izometrično naprezanje povzroča boljši potenciacijski odziv kot pa ekscentrično-koncentrično naprezanje.

Novejša raziskava, ki so jo izvedli Esformes, Keenan, Moody in Bampouras (2011) je raziskovala vpliv izometrične, koncentrične, ekscentrične in ekscentrično-koncentrične kontrakcije na učinke potenciacije. Njihovi rezultati so pokazali, da je samo izometrično naprezanje povzročilo statistično značilno spremembo v največji moči balističnega meta iz prsi.

Glede na raziskave imajo različni tipi mišičnega naprezanja lahko različne vplive na živčno-mišično utrujanje; lahko povzročijo centralno ali pa periferno utrujenost. Torej je opravičeno trditi tudi, da imata izometrična in ekscentrično-koncentrična kontrakcija različne učinke na živčno-mišično potenciacijo. Glede na znane ugotovitve predhodna aktivnost v obliki izometričnega naprezanja povzroči večjo centralno utrujenost, vendar pa po vsej verjetnosti bolje aktivira periferne mehanizme potenciacije (fosforilacija luhkih regulatornih miozinskih verig, spremembota penacije). V nasprotju z izometričnim pa ekscentrično-koncentrično naprezanje povzroči večjo periferno utrujenost in bolj verjetno aktivira centralne (živčne) mehanizme potenciacije (povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot). Glede na zgornje ugotovitve lahko pričakujemo, da bosta izometrično ali ekscentrično-koncentrično naprezanje imela različne vplive na živčno-mišično potenciacijo (Tillin in Bishop, 2009).

#### **1.3.4 Značilnosti posameznika**

Več značilnosti posameznika lahko vpliva na njegovo dovzetnost za učinke živčno-mišične potenciacije, kot najbolj izrazita pa bi lahko izpostavili a) prevladujoč tip mišičnih vlaken in b) stopnjo treniranosti.

Številne raziskave so pokazale, da imajo tisti posamezniki, ki imajo večji delež hitrih mišičnih vlaken, torej mišičnih vlaken tipa II, bolj izrazito živčno-mišično potenciacijo kot pa ljudje z manjšim deležem teh vlaken. Raziskave najdejo trdna tla na znanih fizioloških dejstvih, da mišična vlakna tipa II kažejo večjo fosforilacijo luhkih regulacijskih miozinskih verig v primerjavi z ostalimi vlakni po predhodnem mišičnem naprezanju. Prav tako naj bi ljudje z večjim deležem hitrih mišičnih vlaken imeli večje število hitrejših motoričnih enot (torej tistih m.e., ki se rekrutirajo hitreje), ki bi se lahko aktivirale zaradi zmanjšanja v odpovedi nevrotransmiterja po mišičnega naprezanja. Ti dve značilnosti hitrih mišičnih vlaken naj bi tako vsaj teoretično postavili ljudi z večjim deležem tovrstnih vlaken v prednost kar zadeva učinke živčno-mišične potenciacije (Hodgson idr. 2005; Tillin in Bishop, 2009).

V prid tem trditvam je poizkus Vandervoorta in McComasa (1983), ki sta pokazala, da je bila potenciacija skrčka mišice gastrocnemius veliko bolj izrazita kot pa potenciacija mišice soleus, ki vsebuje manjši delež hitrih mišičnih vlaken.

Stopnja treniranosti posameznika se je prav tako pokazala kot pomemben dejavnik pri tem kolikšen bo njegov potenciacijski odziv. Raziskava z dvema skupinama merjencev, treniranimi na tekmovalni ravni in takšnimi, ki se z vadbo ukvarjajo rekreacijsko, je pokazala učinke potenciacije samo v skupini z merjenci treniranimi na tekmovalni ravni. Avtorji raziskave so navedli, da je bila potenciacija pri bolje treniranih merjencih po vsej verjetnosti bolj izražena

zaradi večje prilagojenosti na živčno-mišično utrujenost (Chiu, Fry, Weiss, Schilling, Brown in Smith, 2003).

### **1.3.5 Tip aktivnosti, ki sledi predhodnemu naprezanju**

Ali bodo učinki potenciacije izraženi ali ne je odvisno tudi od aktivnosti, ki jo bomo izvedli po aktivnosti, ki naj bi povzročila potenciacijo (poprej vedno omenjena kot predhodna aktivnost). Medtem, ko določena predhodna aktivnost lahko vzbudi potenciacijo pri določeni kasnejši aktivnosti, bi lahko ne imela učinka ali celo zmanjšala uspešnost nastopa pri drugačni aktivnosti. Raziskave si tudi na tem področju niso povsem enotne vsekakor pa je potenciacija bolj izražena pri eksplozivnejših gibih, kar je glede na to, da te gibe v večini izvajajo hitra mišična vlakna, precej logično. Rezultati raziskav nakazujejo tudi na pomembnost čim večjega ujemanja kinematike gibanja predhodne aktivnosti z aktivnostjo, ki jo izvedemo zatem (Tillin in Bishop, 2009).

## **1.4 MOŽNOST UPORABE ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE V PRAKSI IN VPRAŠANJE DOLGOROČNEGA UČINKA ŽIVČNO-MIŠIČNE POTENCIACIJE**

Strokonjaki iz sveta znanosti v športu so si enotni glede obstoja živčno-mišične potenciacije in glede njenega pozitivnega učinka na mišično funkcijo. Prisotnost tega fenomena v skeletnih mišicah tako ljudi kot drugih sesalcov so potrdile številne raziskave, kar seveda zbuja zanimanje za njegovo praktično uporabnost v športu, predvsem tekmovanjem kjer zmagovalca od drugouvrščenega lahko loči že stotinka sekunde. Pri pravilni in učinkoviti uporabi je mogoče učinke po-aktivacijske potenciacije vključiti v trening moči in tako izboljšati učinek treninga. Povzročanje živčno-mišične potenciacije pred tekmovanjem bi se lahko celo izkazalo za bolj uporabno metodo kot konvencionalne oblike ogrevanja pri izboljševanju nastopa eksplozivnih športnih aktivnosti kot so skoki, meti in šprinti. (Tillin in Bishop, 2009). Seveda pa glede na dosedanje znanje o živčno-mišični potenciaciji, njenih mehanizmih delovanja in faktorjih, ki nanjo vplivajo, lahko trdimo, da je dobro izvedeno ter športu ustrezno specifično ogrevanje enako, če ne bolj učinkovito, predvsem pa lažje za uporabo v praktičnih situacijah (Docherty in Hodgson, 2007).

Večina raziskav iz področja živčno-mišične potenciacije se osredotoča na akutni učinek omenjenega pojava, malo pa je študij, ki bi raziskovale bolj daljnoročne učinke potenciacije.

Glede na Docherty-ja in Hodgson-a (2007) obstaja v zadnjem času v svetu športa interes za razvoj dolgoročnih živčno-mišičnih sprememb na podlagi t.i. kompleksnega treninga (ang. complex training). Kompleksni trening je način treninga pri katerem vadeči najprej izvede vajo z utežmi z velikimi bremenji (ang. heavy resistance exercise – HRE) kateri sledi ekscentrično-koncentrična vaja s podobnimi biomehanskimi lastnosti. Ideja kompleksnega treninga je v tem, da naj bi prva vaja z velikimi bremenji povzročila živčno-mišično potenciacijo, ki naj bi izboljšala izvedbo pliometrične vaje. Tipičen kompleksni par pri kompleksnem treningu je recimo globok počep z utežmi, ki mu sledi skok z nasprotnim gibanjem. Tak način treninga naj bi, če je pravilno vključen v trenažni načrt, povzročil dolgoročne spremembe v mišici za proizvajanje sile. Zankrat ni še znanih razikav, ki bi dejansko potrdile želene učinke kompleksnega treninga.

Za razliko od zgoraj omenjenega načina uporabe po-aktivacijske potenciacije za daljnoročne učinke se naša raziskava ni ukvarjala z raziskovanje potenciacije za daljtrajajoče spremembe na fiziološki ravni, ampak smo raziskovali možnost ohranjanja učinkov potenciacije oziroma vpliv potenciacije na gibanje, ki se izvaja od dvanajst pa do štiriindvajset ur po sami aktivnosti, ki naj bi povzročila potenciacijo. Obstaja raziskava, ki se je ukvrajala s podobnim problemom in je raziskovala učinke t.i. jutranjega treninga moči na športni nastop v popoldanskem času. Za razliko od nas so raziskovali učinke po štirih do šestih urah in ugotovili izboljšanje pri metu čez glavo nazaj, odgovore pa so med drugim tudi iskali v podaljšanih učinkih živčno-mišične potenciacije in zmanjšanju učinkov živčno-mišičnega utrujanja. Zaključili so le, da ima jutranji trening moči lahko pozitivne vplive na popoldansko izvajanje metov, da pa so za aplikacijo teh ugotovitev pri drugih športih potrebne nadaljne raziskave (Ekstrand, Battaglini, McMurray in Shields, 2013). S tem problemom se je ukvrajala še ena raziskava, ki je pokazala, da jutranji trening moči lahko izboljša popoldanski nastop igralcev rugbyja, le da so odgovor na boljši nastop iskali v cirkadiani spremembi koncentracije hormonov testosterona in kortizola. Izpostavili so še, da na koncu niso mogli zagotovo potrditi, da je manjši odklon testosterona v popoldanskem času, zaradi jutranjega treninga, v resnici tisti razlog zaradi katerega se je izboljšal športni nastop igralcev (Cook, Kilduff, Crewther, Beaven in West, 2014).

Ne glede na to, da je bilo v zadnjih desetih letih izvedeno veliko število raziskav na področju živčno-mišične potenciacije, bi bilo potrebno še precej raziskovanja, da bi lahko z gotovostjo določili vlogo živčno-mišične potenciacije v tekmovalnem športu in kako ta pojav kar najbolje uporabiti v praksi (Docherty in Hodgson, 2007). S tega vidika je jasno, da je naša raziskava zanimiva saj je ena redkih, ki se ukvarjajo z vprašanjem dolgoročnih vplivov živčno-mišične potenciacije na športni nastop.

## **1.5 IZOMETRIČNO NAPREZANJE**

V raziskavi smo kot aktivnost, ki naj bi povzročila živčno-mišično potenciacijo uporabili izometrično mišično naprezanje. Za tak tip kontrakcije smo se odločili, ker so številne raziskave potrdile pojav živčno-mišične potenciacije po izometričnem naprezanju.

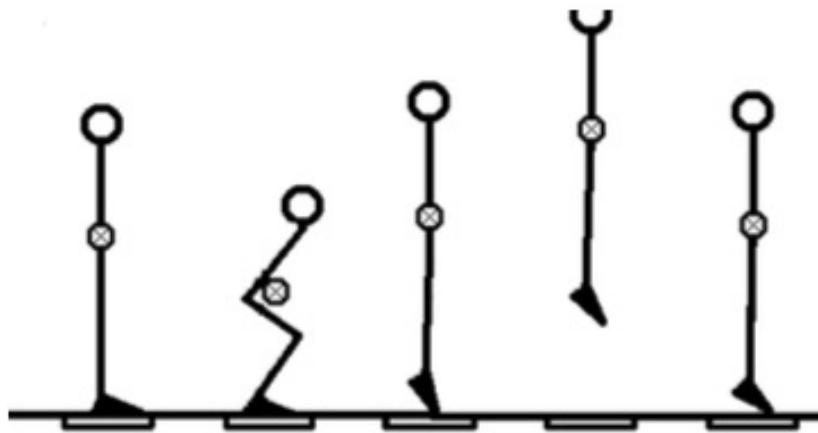
Pri izometrični kontrakciji gre za to, da se dolžina mišično-tetivnega kompleksa med naprezanjem ne spremeni, torej se mišična pripaja ne približujeta niti ne oddaljujeta od navideznega središča mišice. To nam pove že samo ime naprezanja pri katerem *iso* pomeni nespremenljivo, konstantno in *metrika* pomeni dolžino, torej dolžina, ki se ne spreminja. Pri taki kontrakciji se sila, ki jo ustvarja mišica ujema s silo bremena, breme se prav tako kot mišica ne premika (Enoka, 2015).

## **1.6 SKOK Z NASPROTNIM GIBANJEM (CMJ)**

Meritvena naloga, ki smo jo uporabili pri raziskavi je bila skok z nasprotnim gibanjem. Ker gre pri tem gibanju za t.i. ekscentrično-koncentrično naprezanje (EKN) bomo najprej opisali osnovne značilnosti takšnega naprezanja. Tovrstno naprezanje pride v upoštev pri gibanjih kot so meti in skoki pa tudi pri marsikaterem drugem gibanju (npr. hiter tek), kjer gibanje najprej začnemo v nasprotno smer od ciljne smeri (Brezavšček, 2010). Ekscentrično-koncentrično

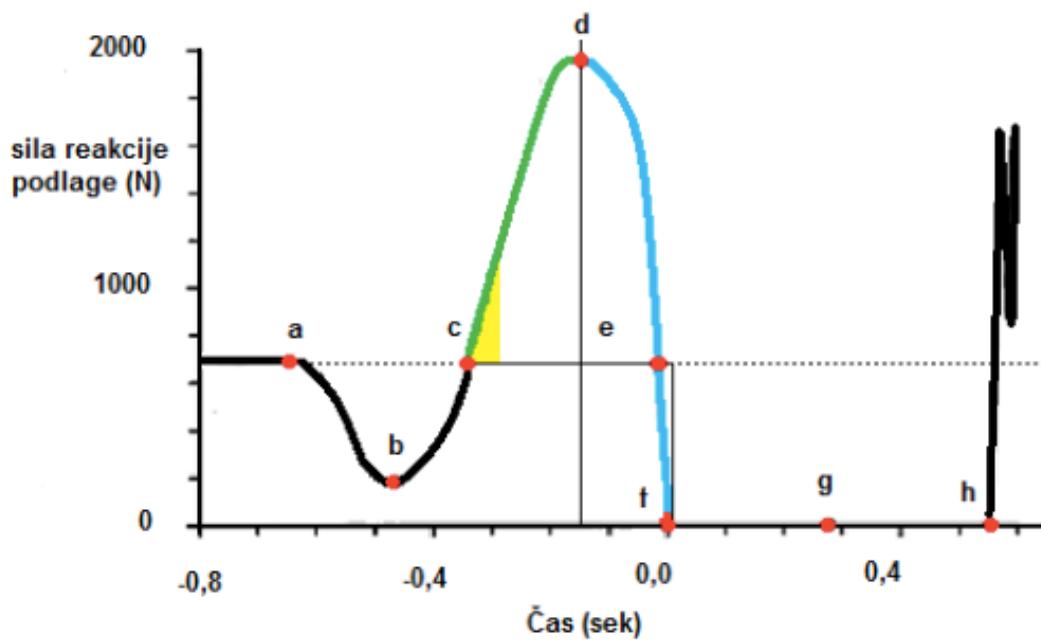
gibanje se torej najprej začne z nasprotnim gibanjem, ki predstavlja ekscentrični del gibanja. Mišična pripaja se kljub napeti mišici v tem delu gibanja oddaljujeta. Bistvo EKN pa je v tem, da ekscentrični kontrakciji takoj sledi koncentrična, ki izkoristi elastično energijo mišičnotetivnega kompleksa ustvarjeno med ekscentričnim delom naprezanja. Ta preklop iz ekscentričnega na koncentričen del mora biti zelo hiter saj življenska doba prečnih mostičev traja le 15-120 ms (Strojnik, 19990).

Kot že rečeno gre pri skoku z nasprotnim gibanjem (ang. counter movement jump – CMJ) za ekscentrično-koncentrično naprezanje pri katerem se skakalec najprej iz pokončnega in v vseh sklepih iztegnjenega položaja začne spuščati navzdol tako, da se upogne v kolku, kolenih in gležnjih (ekscentričen del). Temu delu sledi koncentričen del eksplozivne in kar se da hitre iztegnitve v vseh treh nožnih sklepih, ki mu sledi faza leta. V zraku mora skakalec noge ohraniti iztegnjene. Skok se konča, ko skakalec spet pristane na tleh. Pri meritvah mora ponavadi skakalec ves čas izvedbe skoka roke ohranjati fiksirane v bokih (Brezavšček, 2010; Enoka, 2015). Slika 4 nam prikazuje shematičen prikaz izvedbe skoka z nasprotnim gibanjem.



Slika 4: Shematični prikaz skoka z nasprotnim gibanjem (Brezavšček, 2010).

Parametre skoka z nasprotnim gibanjem se običajno meri s tenziometrijsko ploščo, ki meri delovanje sile na podlago. Tega načina merjenja smo se poslužili tudi mi pri naši raziskavi. Program na podlagi sile reakcije podlage nariše graf, katerega primer lahko najdete spodaj na sliki 5.



Slika 5: Sila reakcije podlage merjena na tenziometrijski plošči pri skoku z nasprotnim gibanjem;  
a- začetek skoka, b- pospešek gibanja navzdol je največji, c- sila reakcije podlage je enaka sili teže, hitrost gibanja navzdol je največja, d- konec ekscentričnega dela in začetek koncentričnega, e- sila reakcije podlage je enaka sili teže, hitrost gibanja navzgor je največja, f- začetek faze leta, g- najvišja točka faze leta in h- doskok, konec skoka (iz Brezavšček, 2010).

Na začetku, ko merjenec nepremično v pokončnem položaju stoji na plošči, je sila reakcije podlage enaka sili teže merjenca. Krivulja se začne spuščati in doseže najnižjo vrednost v točki b kjer je pospešek gibanja težišča navzdol največji. V tem delu je sila manjša kot pa sila teže merjenca zato se težišče pomika navzdol. Od točke b do točke c se krivulja spet dviguje kar pomeni, da je merjenec začel vključevati mišice, ker pa je krivulja še vedno pod začetno vrednostjo se hitrost gibanja navzdol še vedno povečuje. V točki c je sila reakcije podlage spet enaka sili teže merjenca- v tej točki je hitrost gibanja težišča navzdol največja. Od točke c pa do točke d merjenec zavira vendor se njegovo težišče še vedno znižuje. Ko doseže točko d, je njegovo težišče v najnižjem položaju, hitrost je enaka nič. Vse do sem je bilo gibanje ekscentrično. Od tu naprej pa je gibanje koncentrično in težišče spet začne pospeševati navzgor. Pri točki f merjenec zapusti podlago in začne se faza leta, ki doseže najvišjo višino v točki g. Celoten skok se zaključi, ko merjenec doskoči kar se zgodi v točki h (Brezavšček, 2010).

## 1.7 CILJI IN HIPOTEZE

Cilj diplomske naloge je dokazati možnost izboljšanja delovanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije po predhodnem maksimalnem izometričnem naprezanju. Na osnovi tega cilja smo postavili več ničelnih hipotez.

- H<sub>0</sub>1: Intervencija z maksimalnim izometričnim mišičnim naprezanjem bo povzročila kratkotrajno živčno-mišično potenciacijo in posledično višjo višino in izboljšane druge merjene parametre skoka z nasprotnim gibanjem trideset sekund po končani intervenciji, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo.
- H<sub>0</sub>2: Višina skoka in drugi merjeni parametri skoka z nasprotnim gibanjem bodo po dvanajstih urah zaradi učinka živčno-mišične potenciacije višji oz. boljši v primerjavi z višino in drugimi parametri skoka pred potenciranjem mišic, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo.
- H<sub>0</sub>3: Višina skoka in drugi merjeni parametri skoka z nasprotnim gibanjem bodo po štiriindvajsetih urah zaradi učinka živčno-mišične potenciacije višji oz. boljši v primerjavi z višino in drugimi parametri skoka pred potenciranjem mišic, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo.

## 2 METODE DELA

### 2.1 Preizkušanci

V raziskavo je bilo vključenih 12 merjencev, od tega tri ženskega spola in devet moškega spola. Povprečna starost je znašala  $22,9 \pm 1,2$  leti, povprečna teža merjencev pa  $77,8 \pm 9,7$  kg. Merjenci so bili različno trenirani, vsi bivši, nekateri še vedno aktivni športniki. Z izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem in maksimalnim izometričnim počepom v nožni preši so bili merjenci seznanjeni v naprej. V obdobju izvajanja meritve merjenci niso izvajali nobene druge športne aktivnosti, nihče izmed merjencev v času meritve ali v krajšem obdobju pred njimi ni bil poškodovan.

Tabela 1: Vzorec merjencev.

	Minimum	Maksimum	Srednja vrednost	Standardni odklon
<b>Starost (v letih)</b>	22,00	26,00	22,92	1,16
<b>Teža (v kg)</b>	67,50	100,60	77,83	9,73
<b>Število</b>	12			

### 2.2 Pripromočki

Pri standardiziranem ogrevanju smo uporabili 20 cm visoko stopničko, metronom, ki je določal tempo stopanja na stopničko in štoparico. Merjenje parametrov skoka z nasprotnim gibanjem smo izvajali na tenziometrijski plošči, podatke je beležil program ARS, S2P, Slovenija. Za določanje najnižje točke pri skoku z nasprotnim gibanjem smo uporabili nastavljivo elastiko s stojalom na vsaki strani. Uporabili smo tudi fitnes napravo nožno prešo. Za statistično obdelavo podatkov je bil uporabljen statistični paket STATISTIKA 6,0 (StatSoft, Inc, Tulsa, ZDA).

### 2.3 Postopek

Meritve smo izvedli v obliki dveh protokolov. Prvi protokol je zajemal meritve brez intervencije in je služil kot kontrolni protokol, drugi protokol pa je vključeval intervencijo s katero smo žeeli povzročiti živčno-mišično potenciacijo in je služil kot eksperimentalni protokol. Vsak protokol je zajemal tri meritve. Prva meritev se je začela izvajati ob 6.00 zjutraj, druga meritev je sledila čez dvanajst ur, torej ob 18.00 popoldne in tretja meritev čez štiriindvajset ur, kar pomeni ob 6.00 zjutraj naslednji dan. Merjenci so bili izbrani v protokol naključno. Merjenci so si sledili drug za drugim po v naprej določenem vrstnem redu. Vsak merjenec je na vsaki meritvi sodeloval v postopku merjenja točno dvajset minut. Posameznikova naslednja meritev je vedno sledila po točno dvanajstih oz. štiriindvajsetih urah. Merjenci so si tako sledili v naslednjem zaporedju (primer za jutranjo meritve): 6.00, 6.20, 6.40, 7.00, 7.20, 7.40, 8.00, 8.20, 8.40, 9.00, 9.20 in 9.40.

Ena posameznikova dvajset minutna meritev je sledila točno določenemu urniku. Meritev se je pričela s približno devet minut dolgim standardiziranim ogrevanjem. Ob deseti minut se je

izvedel prvi skok z nasprotnim gibanjem. V razmaku tridesetih sekund med vsakim skokom so merjenci tako izvedli tri skoke z nasprotnim gibanjem. To je bila prva serija skokov, ki jo bomo za lažje razumevanje poimenovali skoki\_1. Za statistično obdelavo se je štel le najvišji skok. Od dvanajst do devetnajste minute je bil v testnem protokolu in pri ponovljenih meritvah (čez dvanajst ter štiriindvajset ur) odmor. Pri eksperimentalnem protokolu (vendar samo pri jutranji meritvi) je v tem času potekala intervencija in sicer v treh serijah, ki so si sledile v razmaku treh minut. Trideset sekund po končani zadnji seriji intervencije (kar je sovpadalo z devetnajsto minuto urnika meritve) so se začeli testni skoki z nasprotnim gibanjem. Ponovno so merjenci izvedli tri skoke v razmaku tridesetih sekund, ponovno je za statistično analizo štel le najvišji skok. To serijo skokov bomo za lažje razumevanje poimenovali skoki\_2. Vsaka meritev je vsebovala serijo skokov\_1 in serijo skokov\_2 v katerih so bili vedno trije skoki.

**Tabela 2: Urnik meritve. Čas je naveden v minutah in sekundah.**

Čas (min:sek)	Aktivnost	Opis
00:00	Ogrevanje	6 min stopanje na stopničko (20cm)
06:00		Zamah s pokrčeno nogo naprej in nazja D, 8x
06:30		Zamah s pokrčeno nogo naprej in nazja L, 8x
07:00		Predklon v sedu D, 8x
07:30		Predklon v sedu L, 8x
08:30		Polčep, 5x
10:00	CMJ	
10:30	CMJ	
11:00	CMJ	
12:00	Potenciacija	1. serija - izometrika 6 sekund x 2 (odmor 10 s)
15:00	Potenciacija	2. serija - izometrika 6 sekund x 2 (odmor 10 s)
18:00	Potenciacija	3. serija - izometrika 6 sekund x 2 (odmor 10 s)
19:00	CMJ	
19:30	CMJ	
20:00	CMJ	

Za merjenje kratkoročnih učinkov živčno-mišične potenciacije smo uporabili najvišji skok izmed skokov druge serije (skoki\_2). Druga serija skokov (skoki\_2) se je vedno začela trideset sekund po končani zadnji seriji potenciacije. Za merjenje dolgoročnih učinkov živčno-mišične potenciacije pa smo uporabili najvišje skoke iz ponovljenih meritev čez dvanajst in čez štiriindvajset ur. Izbirali smo najvišji skok le iz skokov\_1 ponovljenih meritev, torej izmed skokov, ki so bili izvedeni pred odmorom.

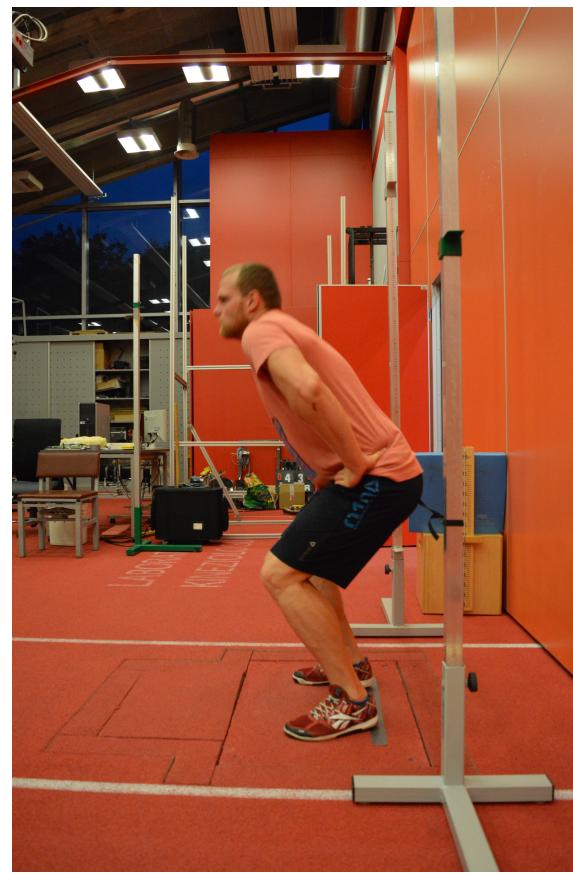
Meritvena naloga, torej skok z nasprotnim gibanjem, se je izvajal na tenziometrijski plošči. Merjencem smo predhodno izmerili višino, ki jo je dosegala njihova zadnjica, ko so imeli noge v pravem kotu. Z elastiko smo nato vsakemu merjencu na tak način določili do katere točke lahko spusti težišče pri izvedbi skoka z nasprotnim gibanjem. Na tak način smo skoke merjencev standardizirali in določili, da so vsi spuščali težišče le do dosega pravega kota v kolenih. Pri

izvedbi skoka z nasprotnim gibanjem so morali merjenci ohranjati roke fiksirane v bokih, po odrivu pa so morali ostati izravnani (krčiti noge po odrivu ni bilo dovoljeno). Izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem kot smo ga izvajali na meritvah nam prikazuje slika 6.

Z meritvami na tenziometrijski plošči smo spremljali naslednje parametre (parametri si v naslednjem vrstnem redu sledijo tudi v poglavju Rezultati):

**Tabela 3: Seznam merjenih parametrov.** Tabela vključuje tudi opis posameznega parametra in enoto v kateri je podan v rezultatih.

Parameter	Opis oz. posebnosti	Enota
<b>1. Višina skoka</b>	Višina je izračunana na podlagi časa leta.	Centimetr (cm)
<b>2. Vertikalna hitrost odriva</b>		Meter na sekundo (m/s)
<b>3. Čas odriva</b>	Predstavlja čas koncentričnega dela skoka.	Sekunda (s)
<b>4. Povprečni pospešek med skokom</b>	Predstavlja povprečni pospešek skozi celoten skok.	Meter na sekundo na kvadrat ( $m/s^2$ )
<b>5. Največja relativna moč med skokom</b>	Predstavlja največjo moč med odrivom (koncentrični del) deljeno s telesno težo.	Watt na kilogram (W/kg)
<b>6. Največja relativna sila ekscentričnega dela skoka</b>	Predstavlja največjo relativno silo zaviranja izraženo v % glede na telesno težo (TT).	% telesne teže (1 TT je 100%)
<b>7. Največja relativna sila koncentričnega dela skoka</b>	Predstavlja največjo relativno silo odriva izraženo v % glede na telesno težo.	% telesne teže (1 TT je 100%)



Slika 6a, 6b in 6c: Tri slike, ki prikazujejo izvedbo meritvene naloge (skoka z nasprotnim gibanjem) na tenziometrijski plošči. Na slikah se vidi elastiko, ki je določala mejo do koder je merjenec lahko spustil zadnjico pri izvedbi skoka.

Za potenciranje merjencev smo uporabili maksimalno izometrično naprezanje v obliki iztegovanja nog v nožni preši kot prikazuje slika 7. Za tak način intervencije smo se odločili na podlagi večih raziskav, ki so potrdile pozitivne učinke na živčno-mišično potenciacijo po izometričnem naprezanju. Za ta položaj smo se odločili zaradi podobnosti s spodnjim položajem med odrivom, ko so sile največje. Intervencija je bila izvedena v treh serijah. Prva serija se je začela ob dvanajsti minut, druga serija ob petnajsti minut in tretja serija ob osemnajsti minut. Vsaka serija je obsegala dve ponovitvi izometričnega naprezanja dolgi šest sekund. Med ponovitvama je bilo deset sekund odmora. Merjenci so imeli noge na nožni preši postavljene tako, da je bil kot v kolenih velik natanko  $90^{\circ}$ . Merjenci so bili potencirani le enkrat in sicer v okviru prve meritve v eksperimentalnem protokolu.



Slika 7: Izvajanje intervencije- izometrični počep v nožni preši s kotom v kolenu  $90^{\circ}$ .

Standardizirano ogrevanje je obsegalo šest minutno stopanje na dvajset centimetrov visoko stopničko. Vsak korak je bil izведен na udarec metronoma. Ritem nastavljen na metronomu je bil 120 udarcev na minuto. Na eno minuto so merjenci menjali noge s katero so stopali na stopničko, tako da so z vsako nogo stopali na stopničko natanko tri minute. Po šestih minutah uvodnega dela ogrevanja je sledila dinamična raztezna gimnastična vaja za iztegervalke in upogibalke kolena (zamah s pokrčeno nogo naprej kateremu povezano sledi zamah s pokrčeno nogo nazaj). Merjenci so izvedli osem ponovitev z vsako nogo. Za vsako nogo so imeli merjenci na voljo trideset sekund. Ob sedmi minutni so izvedli naslednjo dinamično raztezno gimnastično vajo in sicer predklon v sedu, prav tako z obema nogama po osem ponovitev. Enako kot prej so imeli merjenci na voljo trideset sekund za izvedbo vaje z vsako nogo. Točno ob 8:30 minutni so merjenci izvedli pet zaporednih polčepov na tenziometrijski plošči na kateri so potem izvajali meritvene skoke. Težišče so lahko spustili samo do točke, ki jim jo je določala v naprej določena višina elastike. S to zadnjo ogrevalno vajo so se pripravili na izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem in pridobili občutek za dovoljen spust težišča.

Vsi merjenci so bili predhodno seznanjeni z izvedbo standardiziranega ogrevanja, skoka z nasprotnim gibanjem ter z izometričnim počepom v nožni preši.

## 2.4 Statistična analiza podatkov

Za vse parametre so bile izračunane povprečne vrednosti in povprečni odkloni. Normalnost porazdelitev je bila preverjena s Kolmogorov-Smirnov testom. Dvosmerna analiza variance za ponavlajoče meritve z dvema faktorjema (intervencija x čas) je bila uporabljena za testiranje razlik v parametrih skoka po uvodnih meritvah (10 min), enkrat brez in drugič z intervencijo (potenciacijo). Faktor časa je imel dva nivoja, in sicer uvodne meritve (pred) in meritve 10 minut po njih (po), faktor intervencije tudi dva nivoja, in sicer eksperiment brez potenciacije (brez intervencije) in eksperiment s potenciacijo po uvodnih meritvah skokov (z intervencijo). Za testiranje razlik v parametrih skoka dvanajst in štiriindvajset ur po uvodnih meritvah, enkrat brez in drugič z intervencijo (potenciacijo) smo tudi uporabili dvosmerno analizo variance za ponavlajoče meritve. Faktor časa je imel tri nivoje, in sicer uvodne meritve (pred) in meritve dvanajst in štiriindvajset ur po njih, faktor intervencije je imel dva nivoja, in sicer eksperiment brez potenciacije (brez intervencije) in eksperiment s potenciacijo (z intervencijo) po uvodnih meritvah skokov. Parametri skoka z nasprotnim gibanjem so bili relativizirani na vrednosti uvodnih meritev. Za statistično obdelavo podatkov je bil uporabljen statistični paket STATISTIKA 6,0 (StatSoft, Inc, Tulsa, ZDA). Statistična značilnost je bila sprejeta z dvostransko 5 % napako alfa.

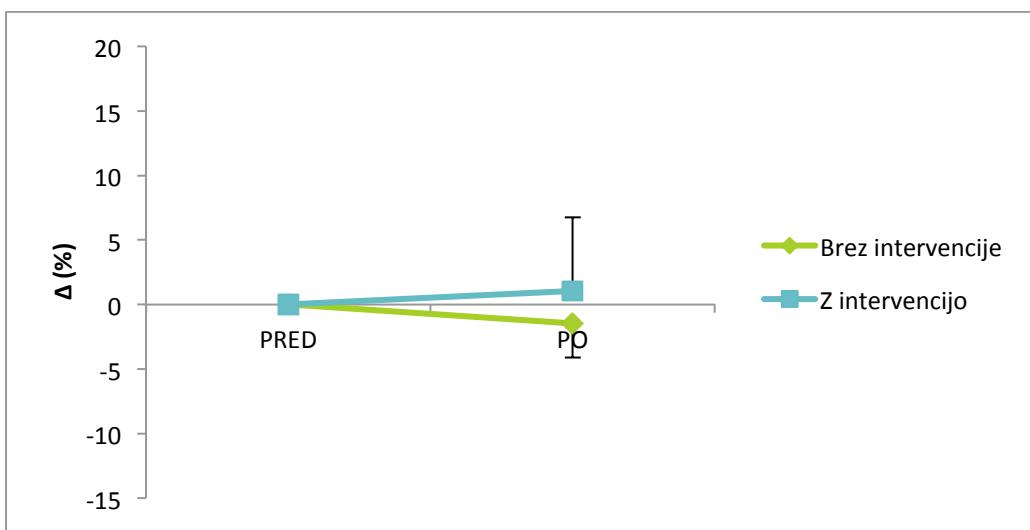
### 3 REZULTATI

V sledečem poglavju so predstavljeni rezultati sedmih merjenih parametrov. Pri vsakem parametru so najprej podani rezultati, ki zadevajo kratkoročni vpliv živčno-mišične potenciacije, potem pa sledijo rezultati, ki nakazujejo na vplive živčno-mišične potenciacije dvanajst in štiriindvajset ur po predhodni aktivnosti, ki naj bi povzročila potenciacijo.

#### 3.1 Višina skoka (cm) z nasprotnim gibanjem (VSC)

Povprečna višina skokov z nasprotnim gibanjem je bila enaka pred eksperimentom brez ( $32,2 \pm 4,8$  cm) in z intervencijo ( $31,0 \pm 4,3$  cm),  $p>0,05$ .

Povprečna višina skokov 30 s po intervenciji se ni razlikovala od skokov po istem času v primerih brez predhodne intervencije ( $F_{1,11}=2,6$ ;  $p=0,14$ ; slika 8).



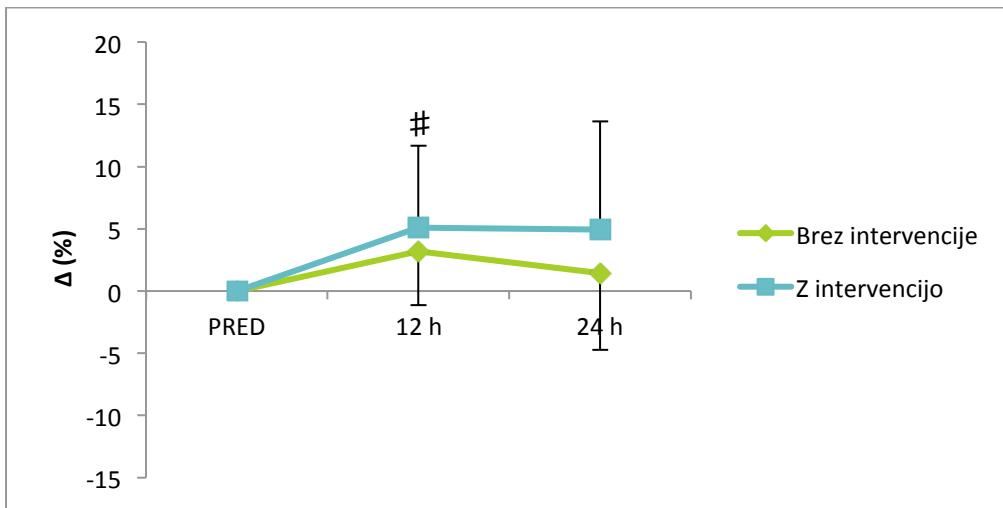
Slika 8: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečne višine skokov z nasprotnim gibanjem 30 sekund po intervenciji (PO) izračunana glede na višino skokov pred (PRED) intervencijo.

Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

Dvanajst ur po intervenciji je bila povprečna višina skokov z nasprotnim gibanjem  $32,6 \pm 5,8$  cm in se ni statistično značilno razlikovala od višine skokov pred intervencijo. Vendar pa je post hoc analiza pokazala tendenco interakcije obeh faktorjev (časa in intervencije) k značilno višji višini skokov po dvanajstih urah ( $F_{2,22}=0,7$ ;  $p=0,067$ ; slika 9).

Pokazal pa se je statistično značilen vpliv faktorja časa ( $p=0,016$ ), kar pomeni, da so se skoki izvedeni ob različnih časih, razlikovali ne glede na intervencijo.

Tudi štiriindvajset ur po intervenciji je bila povprečna višina skokov višja kot pred intervencijo in je znašala  $32,4 \pm 5,2$  cm vendar pa statistični izračuni niso pokazali statistično značilnih razlik ( $F_{2,22}=0,7$ ;  $p=0,51$ ; slika 9).



Slika 9: Relativna sprememba ( $\Delta$  (%)) povprečne višine skokov z nasprotnim gibanjem dvanajst (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na višino skokov pred (PRED) intervencijo.

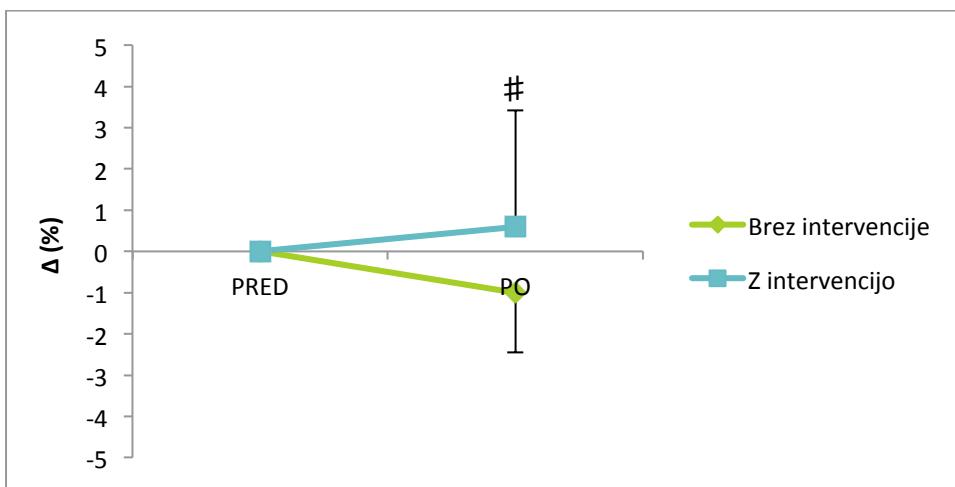
Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

(# nad standardno deviacijo prikazuje tedenco proti statistično značilnim razlikam med PRED in 12 h po intervenciji)

### 3.2 Vertikalna hitrost odriva (m/s) skoka z nasprotnim gibanjem (VTO)

Povprečna vertikalna hitrost odriva skokov pred eksperimentom je bila približno enaka tako pri skokih brez ( $2,51 \pm 0,19$  m/s) kot pri skokih z intervencijo ( $2,46 \pm 0,18$  m/s;  $p > 0.05$ ).

Povprečna vertikalna hitrost odriva skokov 30 sekund po intervenciji se ni značilno razlikovala od vertikalne hitrosti odriva izvedbe skokov brez intervencije, so pa razlike nakazane, saj je p-vrednost blizu statistične pomembnosti ( $F_{1,10} = 4,2$ ;  $p=0,06$ , slika 10).



Slika 10: Relativna sprememba ( $\Delta$  (%)) povprečne vertikalne hitrosti odriva pri skokih z nasprotnim gibanjem 30 sekund po (PO) intervenciji izračunana glede na vertikalno hitrost odriva pred (PRED) intervencijo.

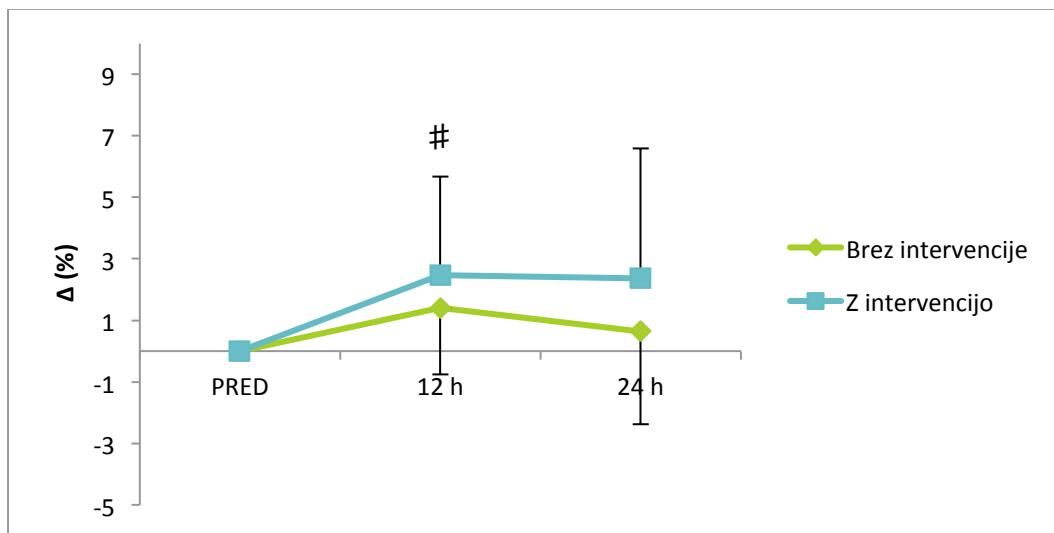
Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

(# nad standardno deviacijo prikazuje tedenco proti statistično značilnim razlikam med PRED in PO intervenciji)

Dvanajst ur po intervenciji je bila povprečna vertikalna hitrost odriva skokov z nasprotnim gibanjem  $2,52 \pm 0,23$  m/s in se ni statistično razlikovala od vertikalne hitrosti pred intervencijo. Vendar pa je post hoc analiza pokazala tendenco interakcije obeh faktorjev (časa in intervencije) k značilno večji vertikalni hitrosti dvanajsti ur po intervenciji ( $F_{2,22}=0,9$ ;  $p=0,078$ ; slika 11).

Pokazal se je statistično značilen vpliv faktorja časa ( $p=0,018$ ). To pomeni, da so se skoki izvedeni ob različnih časih razlikovali glede na intervencijo.

Štiriindvajset ur po intervenciji se vertikalna hitrost skokov ni statistično značilno razlikovala od hitrosti pred intervencijo in je znašala  $2,52 \pm 0,20$  m/s ( $F_{2,22}=0,9$ ;  $p=0,42$ ; slika 11).



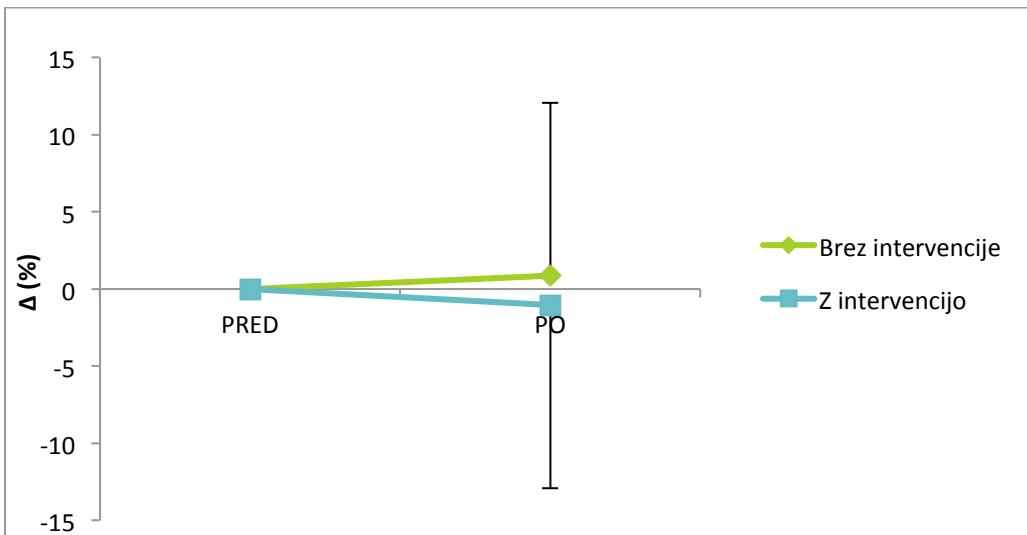
*Slika 11: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečne vertikalne hitrosti odriva pri skokih z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na vertikalno hitrost odriva pred (PRED) intervencijo. Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

(#nad standardno deviacijo prikazuje tedenco proti statistično značilnim razlikam med PRED in 12 h po intervenciji)

### 3.3 Čas odriva (s) skoka z nasprotnim gibanjem (POT)

Povprečen čas odriva skokov je bil pri obeh protokolih ves čas enak in je znašal  $0,230 \pm 0,029$  sekunde pri protokolu brez intervencije in  $0,232 \pm 0,035$  sekunde pri protokolu z intervencijo.

Povprečen čas odriva skokov 30 sekund po intervenciji se ni značilno razlikoval od povprečnega časa odriva skokov brez predhodne intervencije ( $F_{1,11}=0,1$ ;  $p=0,72$ ; slika 12).

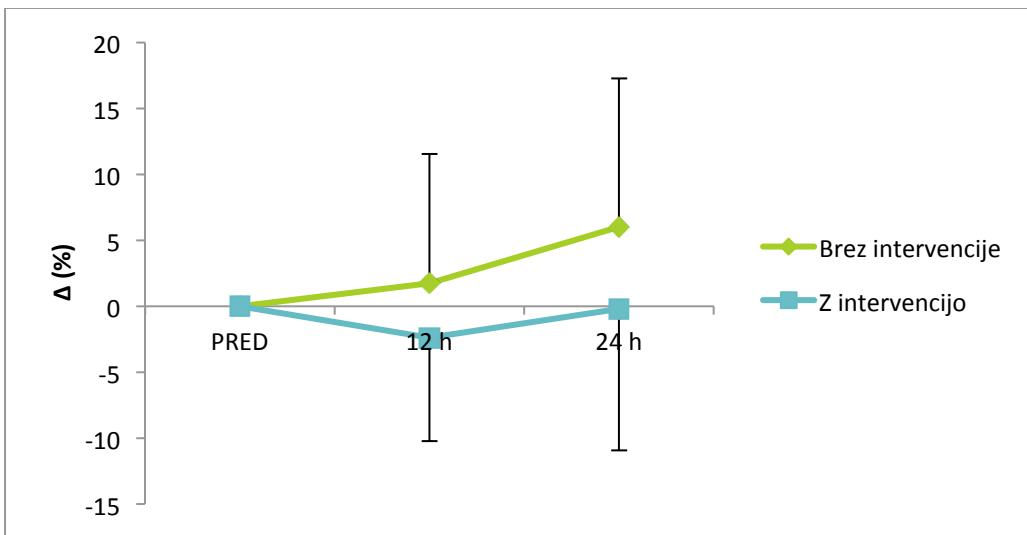


Slika 12: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečnega časa odriva skokov z nasprotnim gibanjem 30 sekund po (PO) intervenciji izračunana glede na čas odriva pred (PRED) intervencijo.

Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

Povprečen čas odriva skokov z nasprotnim gibanjem je pri protokolu brez intervencije po dvanajstih urah znašal  $0,233 \pm 0,026$  sekunde in pa  $0,243 \pm 0,034$  sekunde po štiriindvajsetih urah. Pri protokolu z intervencijo pa je meritev po dvanajstih urah pokazala čas odriva  $0,226 \pm 0,032$  sekunde, meritev po štiriindvajsetih urah pa  $0,230 \pm 0,026$  sekunde.

Za spremenljivko povprečen čas odriva skokov z nasprotnim gibanjem se tako niso pokazale značilne razlike po preteklih dvanajstih in tudi štiriindvajsetih urah po intervenciji, če primerjamo s skoki dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi protokola brez intervencije ( $F_{2,22}=1,1$ ;  $p=0,34$ ; slika 13).



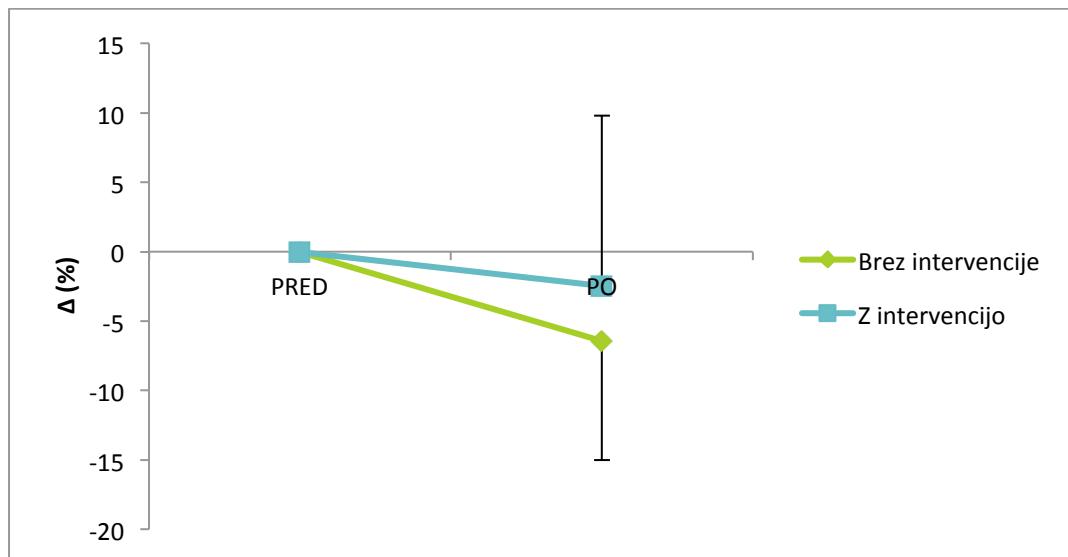
Slika 13: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečnega časa odriva skokov z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na čas odriva pred (PRED) intervencijo.

*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

### 3.4 Povprečen pospešek ( $\text{m/s}^2$ ) med skokom z nasprotnim gibanjem (A)

Povprečen pospešek med skoki z nasprotnim gibanjem je pri uvodni meritvi protokola brez intervencije znašal  $3,95 \pm 0,6 \text{ m/s}^2$ , pri drugi meritvi tega protokola pa  $3,7 \pm 0,63 \text{ m/s}^2$ . Pri protokolu z intervencijo je povprečen pospešek najprej znašal  $3,98 \pm 0,58 \text{ m/s}^2$ , 30 sekund po intervenciji pa  $3,86 \pm 0,64 \text{ m/s}^2$ .

Povprečen pospešek med skoki z nasprotnim gibanjem 30 sekund po intervenciji se ni značilno razlikoval od povprečnega pospeška med skoki brez intervencije ( $F_{1,11}=0,8$ ;  $p=0,39$ ; slika 16).

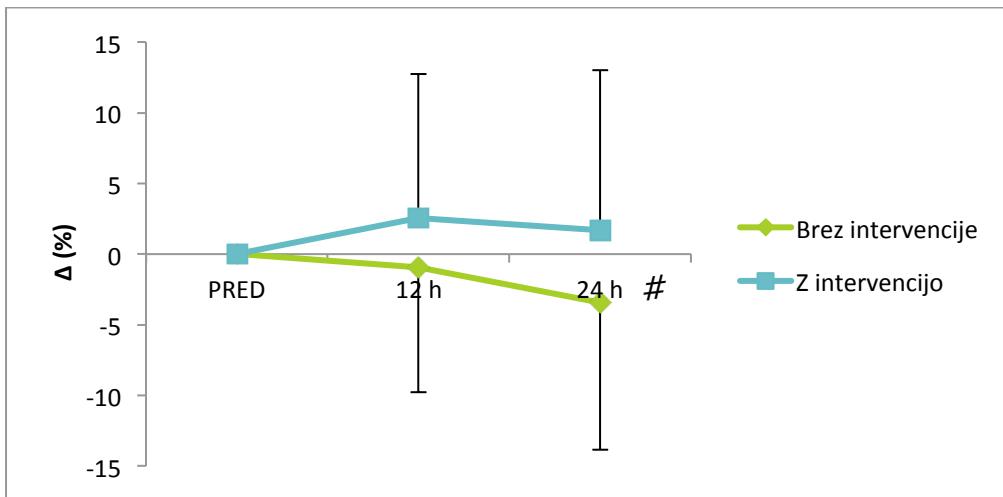


*Slika 14: Relativna sprememba ( $\Delta (\%)$ ) povprečnega pospeška skokov z nasprotnim gibanjem 30 sekund po (PO) intervenciji izračunana glede na povprečen pospešek skokov pred (PRED) intervencijo.*  
*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

Dvanajst ur po intervenciji je bil povprečen pospešek skokov z nasprotnim gibanjem enak kot pred intervencijo ( $4,06 \pm 0,6 \text{ m/s}^2$ ;  $p=0,17$ ; slika 17).

Štiriindvajset ur po intervenciji je bil pospešek  $4.02 \pm 0,59 \text{ m/s}^2$  in se prav tako ni statistično razlikoval od povprečnega pospeška pred intervencijo. Vendar pa je post hoc analiza pokazala tendenco interakcije obeh faktorjev (časa in intervencije) k značilno večjemu povprečnemu pospešku pri eksperimentalni skupini, če primerjamo skupino brez in z intervencijo štiriindvajset ur po intervenciji ( $F_{2,22}=2,0$ ;  $p=0,07$ ; slika 17).

Pokazal se je statistično značilen vpliv faktorja intervencije ( $p=0,04$ ) kar pomeni, da so se skoki brez in z intervencijo statistično razlikovali, vendar ne glede na čas izvedbe meritev.

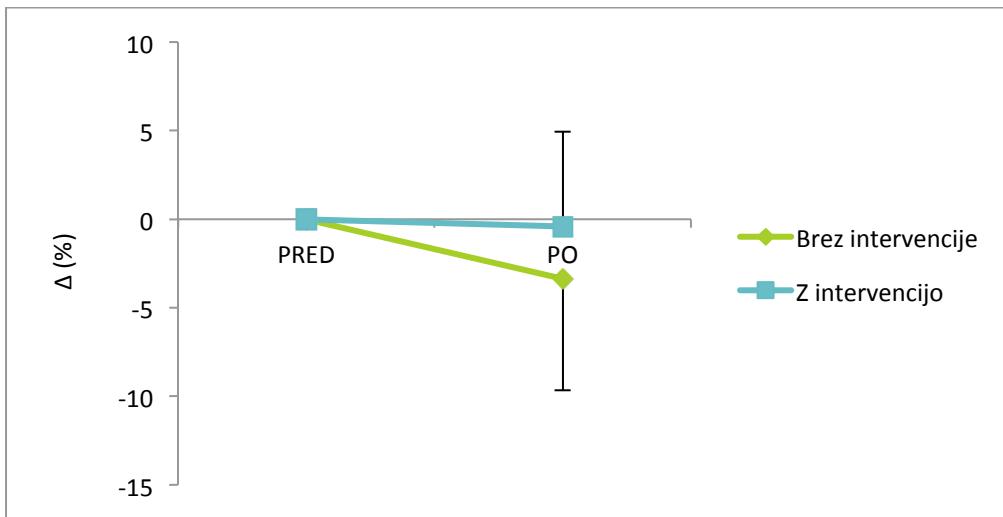


Slika 15: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečnega pospeška skokov z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na povprečen pospešek skokov pred (PRED) intervencijo. Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.  
( $\#$  pod x-oso prikazuje tendenco k statistično značilnim razlikam med skupinama v isti časovni točki)

### 3.5 Največja relativna moč med skokom z nasprotnim gibanjem (MaxP)

Povprečna največja relativna moč med skoki z nasprotnim gibanjem je v prvi in drugi meritvi pri protokolu brez intervencije znašala  $52 \pm 6,6$  W/kg in pa  $50,2 \pm 7,7$  W/kg, pri protokolu z intervencijo pa  $50 \pm 5,9$  W/kg in  $49,8 \pm 6,5$  W/kg.

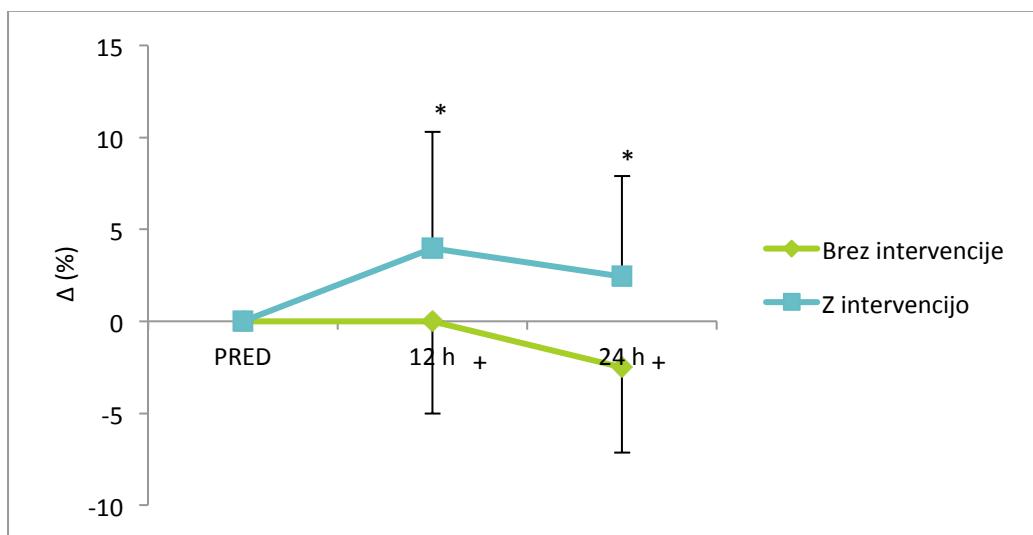
Največja relativna moč se tako 30 sekund po intervenciji ni značilno razlikovala od največje relativne moči pri protokolu brez intervencije ( $F_{1,11}=1,8$ ;  $p=0,21$ ; slika 24).



Slika 16: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečne največje relativne moči med skoki z nasprotnim gibanjem izračunana glede na največjo relativno moč med skoki pred (PRED) intervencijo. Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

Dvanajst ur po intervenciji je povprečna največja relativna moč med skoki z nasprotnim gibanjem znašala  $52,1 \pm 8,3$  W/kg in je bila statistično značilno višja kot pred intervencijo ( $49,9 \pm 5,9$  W/kg). Prav tako se je od največje relativne moči pred intervencijo značilno razlikovala največja relativna moč štiriindvajset ur po intervenciji, ko je znašala  $51,3 \pm 7,8$  W/kg ( $F_{2,22}=4,6$ ;  $p=0,02$ ; slika 25).

Največja relativna moč med skoki, ko merjenici niso izvedli intervencije, je bila v vseh treh merjenih točkah (pred, 12 ur po in 24 ur po uvodni meritvi) podobna, njena sprememba se ni izkazala za statistično značilno (slika 25).



Slika 17: Relativna sprememba ( $\Delta$  (%)) povprečne največje relativne moči med skoki z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na največjo relativno moč med skoki pred (PRED) intervencijo.

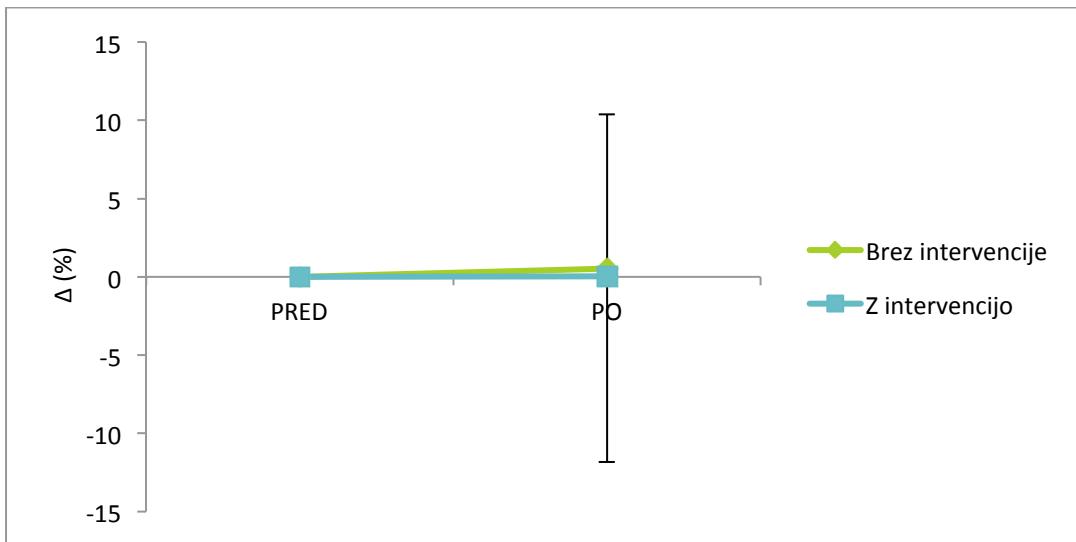
Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.

(\* nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in PO intervenciji; + pod x-os prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki)

### 3.6 Največja relativna sila ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem – največja relativna sila zaviranja (MaxFCM)

Povprečna največja relativna sila ekscentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem je pri prvi in drugi meritvi pri protokolu brez intervencije znašala  $259,3 \pm 42,6$  %TT (100% predstavlja 1 TT) in  $258 \pm 28,6$  %TT, pri protokolu z intervencijo pa pri prvi  $262,2 \pm 33,7$  %TT in  $260,7 \pm 33,9$  %TT pri drugi.

Vrednosti 30 sekund po intervenciji se niso značilno razlikovale od vrednosti brez intervencije ( $F_{1,11}=0,0$ ;  $p=0,99$ ; slika 26).

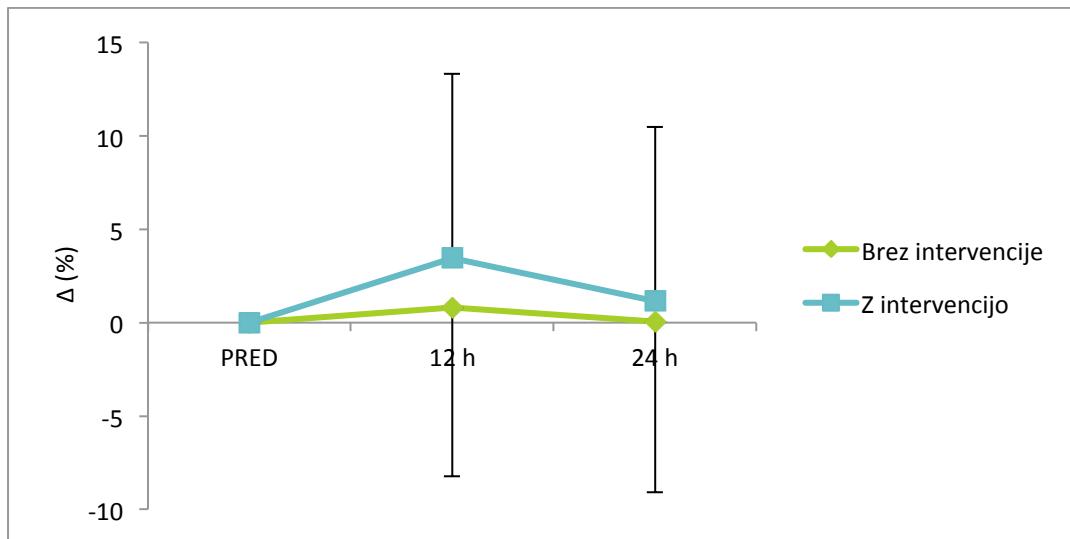


*Slika 18: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečne največje relativne sile ekscentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem 30 sekund po (PO) intervenciji izračunana glede na največjo relativno silo ekscentričnega dela skokov pred (PRED) intervencijo.*

*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

Povprečna največja relativna sila ekscentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem je po dvanajstih urah pri protokolu brez intervencije znašala  $259,5 \pm 34,9\%TT$  in  $256,8 \pm 27,4\%TT$  po štiriindvajsetih urah. Pri protokolu z intervencijo smo zabeležili vrednosti  $270,3 \pm 34,1\%TT$  po dvanajstih urah in  $263,5 \pm 26,4\%TT$  po štiriindvajsetih urah.

Pri spremenljivki se niso pokazale značilne razlike po preteklih dvanajstih in štiriindvajsetih urah po intervenciji, če primerjamo s skoki dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi protokola brez intervencije ( $F_{2,22}=0,6$ ;  $p=0,53$ ; slika 27).



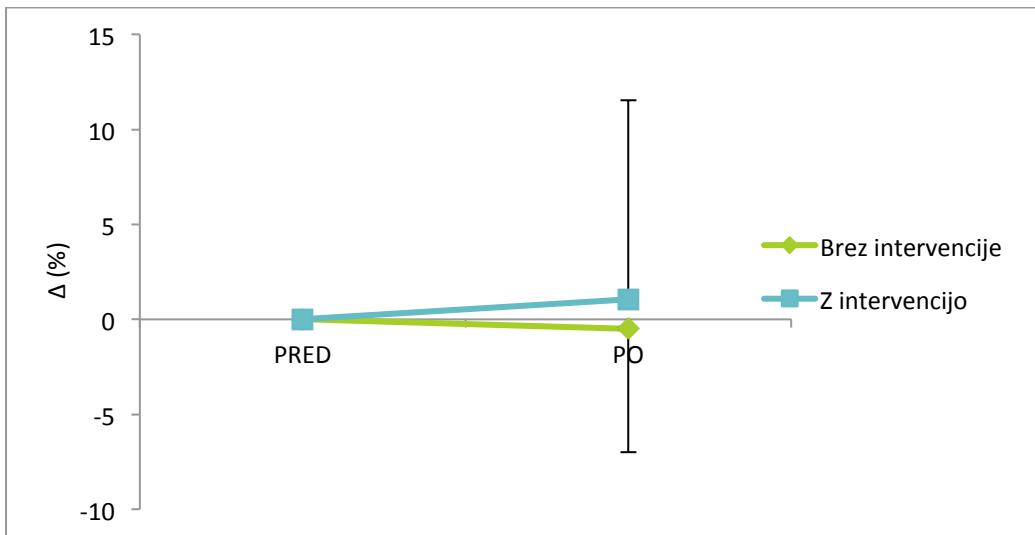
*Slika 19: Relativna sprememba ( $\Delta (%)$ ) povprečne največje relativne sile ekscentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na največjo relativno silo ekscentričnega dela skokov pred (PRED) intervencijo.*

*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

### 3.7 Največja relativna sila koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem MaxFPO

Povprečna največja relativna sila koncentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem je pri prvi in drugi meritvi pri protokolu brez intervencije znašala  $267,1 \pm 39,3\%TT$  (100% predstavlja 1 TT) in  $264,4 \pm 30,5\%TT$ , pri protokolu z intervencijo pa pri prvi  $264,8 \pm 37,1\%TT$  in  $265,8 \pm 33,6\%TT$  pri drugi.

Vrednosti spremenljivke se 30 sekund po intervenciji niso značilno razlikovala od vrednosti brez intervencije ( $F_{1,11}=0,2$ ;  $p=0,68$ ; slika 28).

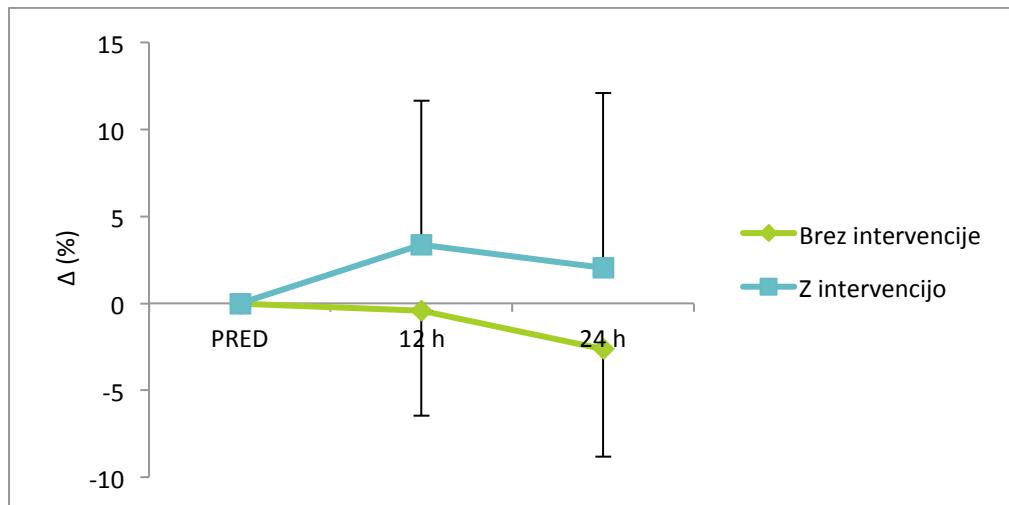


*Slika 20: Relativna spremembra ( $\Delta$  (%)) povprečne največje relativne sile koncentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem 30 sekund po (PO) intervenciji izračunana glede na največjo relativno silo koncentričnega dela skokov pred (PRED) intervencijo.*

*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

Povprečna največja relativna sila koncentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem je po dvanajstih urah pri protokolu brez intervencije znašala  $265 \pm 33,2\%$ TT in  $258,3 \pm 30,9\%$ TT po štiriindvajsetih urah. Pri protokolu z intervencijo pa  $272,9 \pm 36,4\%$ TT po dvanajstih urah in  $268,3 \pm 30\%$ TT po štiriindvajsetih urah.

Spremenljivka se ni izkazala za značilno različno po preteklih dvanajstih in štiriindvajsetih urah po intervenciji, če primerjamo s skoki dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi protokola brez intervencije ( $F_{2,22}=2,5$ ;  $p=0,1$ ; slika 29).



*Slika 21: Relativna sprememba ( $\Delta (\%)$ ) povprečne največje relativne sile koncentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji izračunana glede na največjo relativno silo koncentričnega dela skokov pred (PRED) intervencijo.*

*Intervencija: 3 serije, 2 x 6 sekund izometričnega počepa, premor med ponovitvama je 10 sekund, premor med serijami je 2 minuti in 38 sekund.*

## 4 RAZPRAVA

Cilj naloge je bil dokazati kratkotrajno (trideset sekund po končani intervenciji) in dolgotrajno (dvanaest in štiriindvajset ur po intervenciji) izboljšanje delovanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije kot posledice predhodnega maksimalnega izometričnega naprezanja. Glede na dobljene rezultate ne moremo trditi, da maksimalno izometrično naprezanje pripomore k izboljšanju mišične-funkcije, so pa nakazane tendenze k temu, da ima tovrstna predhodna aktivnost pozitiven vpliv na izboljšanje mišične funkcije pri skoku z nasprotnim gibanjem.

V prvem delu razprave se bomo osredotočali na rezultate, ki se nanašajo na kratkoročno izboljšanje delovanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije. Če primerjamo našo ugotovitev z nekaterimi drugimi raziskavami ugotovimo, da so mnenja na tem področju deljena. Gossen in Sale (2000) ter Robbins in Docherty (2005) prav tako niso uspeli dokazati izboljšanja mišične funkcije po maksimalnem izometričnem naprezanju, medtem ko so številni drugi to uspeli dokazati (Gullich in Schmidbleicher, 1996; Esformes idr., 2011; Rixon, Lamont in Bemben, 2007). Esformes idr., ki so znotraj ene raziskave primerjali vpliv izometrične, koncentrične, ekscentrične ter ekscentrično-koncentrične kontrakcije na živčno-mišično potenciacijo so zapisali, da je glede na njihove rezultate samo izometrična kontrakcija tista, ki lahko začasno izboljša mišično funkcijo. Verjetno bi bilo z našo raziskavo najbolj smiselno primerjati študijo Rixona idr. (2007), ki so prav tako kot mi za testno nalogu uporabili skok z nasprotnim gibanjem, kot predhodno aktivnost pa izometričen počep. Primerjali so potenciacijski odziv po izometričnem in ekscentrično-koncentričnem naprezanju ter zaključili, da je pri tem bolj učinkovito izometrično naprezanje.

Rezultati naše raziskave so tako v nasprotju z rezultati nekaterih drugih raziskav. Zakaj je temu tako? Odgovor na to bi verjetno lahko iskali v količini predhodne aktivnosti, torej aktivnosti, ki naj bi povzročila potenciacijo. Rixon idr. (2007) so za potenciranje uporabili tri ponovitve maksimalnega izometričnega počepa, ki je trajal tri sekunde. Mi pa smo naše merjence potencirali oz. žeeli potencirati s tremi serijami, ki so vključevale po dve ponovitvi izometričnega počepa dolgega šest sekund. Razlog za večjo količino naše predhodne aktivnosti lahko utemeljimo s tem, da smo poleg kratkotrajnega učinka živčno-mišične potenciacije iskali tudi dolgotrajnega (po dvanaestih in štiriindvajsetih urah). Kot vemo, je uspešnost mišične funkcije pogojena z njeno kontraktilno zgodovino. Predvidevamo lahko, da je naša predhodna aktivnost povzročila večjo živčno-mišično utrujenost kot pa potenciacijski odziv in posledično ni bilo izboljšanja mišične funkcije; skoki z nasprotnim gibanjem niso bili višji in prav tako ni bilo izboljšanja vrednosti drugih parametrov.

Pri enem od merjenih parametrov (vertikalna hitrost odriva) je bila nakazana tedenca k značilno višjim vrednostim trideset sekund po intervenciji; obstajajo torej težnje k boljšim skokom po intervenciji. Odgovor na to bi morda lahko iskali v sestavi naše skupine merjencev, ki je bila, glede stopnjo treniranosti, nehomogena. Predvidevamo, da bi vzorec merjencev, ki bi bili vsi dobro trenirani, lahko pokazal celo statistično značilno višje skoke, saj izometrična intervencija pri njih ne bi povzročila tolikšne utrujenosti in bi učinki živčno-mišične

potenciacije lahko prišli bolj do izraza. Prav tako bi morda na pomembnost rezultatov lahko vplivala velikost vzorca, ki je bila v naši raziskavi (pre)majhna.

Glede na deljena mnenja raziskav s tega področja so nadaljna raziskovanja kratkotrajnih učinkov živčno-mišične potenciacije po našem mnenju vsekakor potrebna. Predvidevamo, da je do različnih ugotovitev prišlo predvsem zaradi različne količine predhodne aktivnosti, v tem primeru izometričnega naprezanja. Verjetno bi bilo dobro, da bi se raziskave pri določanju količine obremenitve na nek način standardizirale, ko gre za raziskovanje kratkoročnih učinkov potenciacije po maksimalnem izometričnem naprezanju, saj bi bila tako primerjava rezultatov lažja in bolj realna. Seveda pa razumemo, da je tak način raziskovanja za prakso težje izvedljiv.

Poleg ugotavljanja učinka maksimalnega izometričnega naprezanja na kratkotrajno izboljšanje mišične funkcije je bil cilj naše raziskave ugotoviti tudi ali ima lahko tak tip naprezanja dolgoročne učinke na izboljšanje mišične funkcije, natančneje dvanajst in štiriindvajset ur po maksimalnem izometričnem naprezanju. Raziskovali smo torej morebiten obstoj t.i. dolgoročne živčno-mišične potenciacije oz. dolgoročnih učinkov živčno-mišične potenciacije. To smo zajeli znotraj druge in tretje hipoteze, ki trdita, da bo višina skoka po dvanajstih in štiriindvajsetih urah zaradi učinka potenciacije višja. Hipotezi prav tako trdita, da bodo poleg višine skoka izboljšani tudi drugi merjeni parametri. Rezultati so ti dve hipotezi ovrgli, saj niso bile dokazane statistično značilne razlike med skoki izvedenimi po istem času v protokolu z in protokolu brez intervencije. Za statistično značilnega se je izkazal samo en parameter in sicer največja relativna moč med skokom. Je pa večkrat nakazana tendenca k višji višini skokov dvanajst ur po predhodni aktivnosti, ki naj bi povzročila potenciacijo.

Glede na to, da se podobnega problema ni lotilo veliko že znanih raziskav, težko primerjamo naše ugotovitve z drugimi. Najbližje naši študiji sta raziskavi, ki sta že bili omenjeni v delu, in sta raziskovali vpliv t.i. jutranjega treninga moči na popoldanski nastop in obe potrdili izboljšanje nastopa v popoldanskem času, ko se je zjutraj izvajal tudi kratek trening moči. Vendar pa so razloge za izboljšanje nastopa utemeljevali z vplivom jutranjega treninga moči na spremembe v cirkadiani koncentraciji hormonov testosterona in kortizola (Cook idr., 2014) ali pa niso točno navedli zakaj naj bi po njihovem mnenju prišlo do izboljšanega nastopa v popoldanskem času zaradi jutranjega treninga moči, le da ima takšen trening lahko pozitivne učinke na nastop v popoldanskem času (Ekstrand idr., 2013).

V nasprotju z omenjenimi raziskavami smo mi pričakovali izboljšanje mišične funkcije po dvanajstih in štiriindvajsetih urah na podlagi učinkov živčno-mišične potenciacije. Ker do takšnega izboljšanja ni prišlo, lahko predvidevamo, da se mehanizmi živčno-mišične potenciacije ne morejo ohraniti na daljši rok. Kot je že bilo pojasnjeno v delu, so glavni mehanizmi živčno-mišične potenciacije fosforizacija regulacijskih miozinskih verig, povečana rekrutacija hitrejših motoričnih enot in spremembe v kotu penacije. Mislimo, da bi bilo potrebno do dobra raziskati koliko časa se lahko delovanje teh mehanizmov dejansko ohrani in če je to možno, kaj vse vpliva na te mehanizme, da bi lahko z gotovostjo trdili o možnosti obstoja dolgotrajnih učinkov živčno-mišične potenciacije na izboljšanje mišične funkcije.

Sprememba pri enem od parametrov pa se je le pokazala kot statistično značilna in sicer pri največji relativni moči med skokom. Gre za spremenljivko, ki predstavlja največjo moč med odrivom deljeno s telesno težo in je izražena v W/kg. Spremenljivka se torej nanaša na koncentrični del skoka. Zakaj se je pri tem parametru pokazala statistično značilna razlika pri ostalih pa ne, ne znamo točno razložiti. Glede na Jidotseff, Quievere, Harrisa in Cronina (2014) naj dosežena višina pri vertikalnih skokih in izkazana moč ne bi bili nujno povezani. Prejšnje raziskave pravijo, da naj bi na moč v precejšnji meri vplivala strategija skoka (Jidotseff idr. 2014). Glede na te trditve in glede na to, da se za statistično značilnega ni izkazal noben drug parameter še ne moremo trditi, da zaradi statistično značilne spremembe pri največji relativni moči obstaja učinek dolgoročne živčno-mišične potenciacije pri naših merjencih.

Rezultati sicer niso pri nobenem drugem parametru pokazali statistično značilne razlike, je pa bila večkrat nakazana tendenca k statistično značilno boljšim rezultatom dvanajst ur po intervenciji. Takšna tendenca se je pokazala tako pri merjenju višine skoka iz časa leta kot pri merjenju vertikalne hitrosti odriva. Gre za sorodna parametra; prvi nam podaja višino skoka izračunano glede na čas leta, drugi pa iz začetne vertikalne hitrosti. Čeprav parametra (sicer na različen način) podajata enako informacijo (višino skoka) predstavljamo oba, ker je slednji pokazal tendenco tako kratkotrajne potenciacije kot tudi potenciacije po dvanajstih urah. V obeh primerih se je izkazal kot statistično značilen faktor časa, zato lahko predvidevamo, da je imel na izvedbo skokov vpliv tudi bioritem. Skoki, ki so bili izvedeni dvanajst ur po uvodnih meritvah, so bili namreč glede na ta dva parametra boljši od skokov izvedenih med uvodno meritvijo pri obeh protokolih. Da skoki ne bi bili boljši zaradi učinkov gibalnega učenja meritvene naloge, smo preprečili z randomizacijo določitve protokola posameznemu merjencu. Statistična značilnost faktorja časa v tem primeru tako ni stvar gibalnega učenja, ampak je po vsej verjetnosti tako zaradi vpliva bioritma na gibalne sposobnosti. Skoki uvodnih meritov so bili namreč izvedeni v jutranjem času, skoki ponovljenih meritov dvanajst ur po uvodnih pa v popoldanskem oz. večernem času. Prav tako se ni za statistično značilnega izkazal faktor časa po štiriindvajsetih urah, kar bi se verjetno v primeru gibalnega učenja zgodilo. Takšni rezultati se skladajo z našo teorijo o vplivu bioritma na izvedbo skoka, saj so bile meritve štiriindvajset ur po uvodni meritvi ponovno izvedene v jutranjih urah.

Da ni prišlo do kratkotrajnega in tudi dolgoročnega izboljšanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije, bi lahko pripisali tudi izbiri merjencev v meritveni vzorec. Predvidevamo namreč, da bi merjenci, ki bi bili bolje trenirani, lahko izrazili manjšo stopnjo utrujenosti po intervenciji in posledično pokazali večjo dovzetnost za učinke živčno-mišične potenciacije. Ta trditev je tudi v skladu z raziskavo, ki so jo izvedli Chiu idr. (2003) in je pokazala, da imajo merjenci z višjo stopnjo treniranosti boljši potenciacijski odziv kot merjenci z nižjo stopnjo treniranosti. Pomanjklivost raziskave vidimo tudi v tem, da se ni natančno preverila stopnja treniranosti merjencev. Tako bi namreč lahko lažje sklepali glede na dobljene rezultate.

Mislimo, da je bila raziskava glede na dane možnosti dobro izvedena. Merjenci so bili predhodno sezanjeni z aktivnostmi intervencije in meritveno aktivnostjo, celotna raziskava je potekala brez zapletov, ki bi lahko neposredno ali posredno vplivali na rezultate. Menimo, da so

naši rezultati uporabni za športno prakso, saj prikažejo, da prevelika vadbena količina, ko želimo doseči živčno-mišično potenciacijo z maksimalnim izometričnim naprezanjem, ne prinese želenega učinka. Prav tako, glede na naše rezultate, maksimalno izometrično naprezanje ne povzroča dolgotrajnih učinkov živčno-mišične potenciacije. Morda bi bili učinki izraženi pri bolje treniranih merjencih, zato predlagamo več raziskav na tem področju, predvsem z merjenci z višjo stopnjo treniranosti.

## 5 SKLEP

Predmet diplomskega dela je bil preučevanje učinkov maksimalnega izometričnega naprezanja na živčno-mišično potenciacijo. Zastavljeni cilj naloge je bil dokazati možnost izboljšanja delovanja mišične funkcije zaradi učinkov živčno-mišične potenciacije po predhodnem maksimalnem izometričnem naprezanju. V skladu s tem ciljem smo postavili tri hipoteze: prva hipoteza je trdila, da bo intervencija z maksimalnim izometričnim mišičnim naprezanjem povzročila kratkotrajno živčno-mišično potenciacijo in posledično višjo višino in izboljšane druge merjene parametre skoka z nasprotnim gibanjem trideset sekund po končani intervenciji, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo; druga hipoteza je trdila, da bodo višina skoka in drugi merjeni parametri skoka z nasprotnim gibanjem dvanajst ur po intervenciji zaradi učinka živčno-mišične potenciacije višji oz. boljši v primerjavi z višino in drugimi parametri skoka pred potenciranjem mišic, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo; in pa tretja hipoteza, ki je trdila, da bodo višina skoka in drugi merjeni parametri skoka z nasprotnim gibanjem štiriindvajset ur po intervenciji zaradi učinka živčno-mišične potenciacije višji oz. boljši v primerjavi z višino in drugimi parametri skoka pred potenciranjem mišic, medtem ko razlik pri protokolu brez intervencije ne bo.

V skladu s ciljem in hipotezami smo izvedli raziskavo, ki je vključevala dvanajst merjencev (tri ženske, devet moških;  $22,9 \pm 1,2$  leti;  $77,8 \pm 9,7$  kg). Raziskava je zajemala dva protokola, kontrolni in eksperimentalni protokol. Vsi merjeni so izvedli oba protokola, vendar v naključnem vrstnem redu. Kontrolni protokol je zajemal meritve brez intervencije, eksperimentalni protokol pa meritve z intervencijo, ki naj bi povzročila živčno-mišično potenciacijo. Vsak protokol je zajemal tri meritve: prva meritev, ponovljena meritev čez dvanajst ur in ponovljena meritev čez štiriindvajset ur. Vpliv kratkotrajnih učinkov živčno-mišične potenciacije se je meritve z intervencijo, ki naj bi povzročila živčno-mišično potenciacijo, je obsegala tri serije po dve ponovitvi maksimalnega izometričnega počepa dolgi šest sekund. Meritvena naloga je bila skok z nasprotnim gibanjem, ki smo ga merili na tenziometrijski plošči.

Vse tri hipoteze smo zavrnili, saj se ni pokazala statistično značilna razlika pri spremembni višini skokov in statistično značilna razlika pri spremembni drugih merjenih parametrov takoj po, dvanajst ur in štiriindvajset ur po intervenciji, če primerjamo s skoki izvedenimi v istem času pri protokolu brez intervencije. Statistično značilna razlika se je pokazala le pri parametru največja relativna moč, ki pa smo ga glede na to, da gre za edini statistično značilen parameter in pa glede na nekatere poprejšnje ugotovitve, ki nakazujejo, da naj bi nastop pri vertikalnih skokih in izkazana moč ne bila nujno povezana, ter da ima na ta parameter lahko precejšen vpliv strategija skoka (Jidovtseff idr. 2014), zanemarili.

Odsotnost kratkotrajnih učinkov živčno-mišične potenciacije je bila v nasprotju z našimi pričakovanji. Predvidevamo, da potenciranosti merjencev nismo dosegli zaradi prevelike količine aktivnosti pri intervenciji. Verjetno bi bolje trenirani merjeni tudi pri takšni količini

intervencije kazali učinke živčno-mišične potenciacije, saj bi pojav utrujenosti nanje imel manjši učinek.

Prav tako nismo uspeli dokazati dolgoročnih učinkov živčno-mišične potenciacije. Glede na naše rezultate ne moremo trditi, da bi ta pojav lahko vplival na mišično funkcijo dvanajst in štiriindvajset ur po predhodnem naprezanju. Pri obeh protokolih se je pokazala tendenca k statistično značilno višjim skokom dvanajst ur po intervenciji. To smo pripisali vplivu bioritma na gibalne sposobnosti, po tem, ko smo zaradi randomizacije določitve protokola posameznemu merjencu izključili vpliv gibalnega učenja na boljšo izvedbo meritvene naloge.

Glede na dobljene rezultate lahko podamo priporočila za prakso. Svetujemo, da se za povzročanje živčno-mišične potenciacije v primeru potenciranja z maksimalnim izometričnim naprezanjem ne uporablja prevelika vadbena količina, saj le ta lahko povzroči večje utrujanje kot pa potenciacijo, kar ne bo prineslo želenega učinka. Menimo, da so raziskave na tem področju še potrebne. Glede na naša spoznanja za bodoče raziskave svetujemo vzorec merjencev z visoko stopnjo treniranosti oz. natančno poizvedovanje o stopnji treniranosti merjencev zaradi lažjega zaključevanja na podlagi dobljenih rezultatov.

## 6 VIRI

- Brezavšček, R. (2010). *Razlike pri aktivaciji mišic pri skokih z nasprotnim gibanjem, izvedenih na različne načine*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
- Chiu, L. Z. E., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E. in Smith, S. L. (2003). Postactivation Potentiation Response in Athletic and Recreationally Trained Individuals. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 671-677.
- Cook C.J., Kilduff L.P., Crewther B.T., Beaven M. in West D.J. (2014). Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(3), 317-321.
- Docherty D. in Hodgson M. J. (2007). The Application of Postactivation Potentiation to Elite Sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 439-44.
- Ekstrand L.G., Battaglini C.L., McMurray R.G. in Shields E.W. (2013). Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(1), 101-106.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of Human Movement*. Champaign (IL) : Human Kinetics, cop. 2015.
- Esformes, J. I., Keenan, M., Moody, J. in Bampouras, T. M. (2011). Effect of different types of conditioning contraction on upper body postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 143-148.
- Gossen E. R. in Sale D. G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology* 11(4), 524-530.
- Gullich A. in Schmidbleicher D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics* 11(4), 67-81.
- Hamada T., Sale D.G., MacDougall J.D. in Tarnopolsky M.A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 178(2), 165-173.
- Hodgson M. J., Docherty D. in Robbins D. (2005). Post-Activation Potentiation, Underlying Physiology and Implications for Motor Performance. *Sports Medicine* 35(7), 585-595.
- Jidovtseff B., Quievre J., Harris N. K. In Cronin J. B. (2014). Influence of jumping strategy on kinetic and kinematic variables. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 54(2), 129-138.
- Mahlfeld K., Franke J in Awiszus F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*. 29(4). 597-600.

- Manning D.R. in Stull J.T. (1982). Myosin light chain phosphorylation-dephosphorylation in mammalian skeletal muscle. *American Journal of Physiology* 242(3). C234-C241.
- Moore R.L. in Stull J.T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *American Journal of Physiology* 247(5 Pt 1). C462-C471.
- Rixon K. P., Lamont H. S. in Bemben M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(2). 500-505.
- Robbins D. W. In Docherty D. (2005). Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(4). 898-902.
- Smith, J. C. in Fry, A. C. (2007). Effects of a ten-second maximum voluntary contraction on regulatory myosin light-chain phosphorylation and dynamic performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 73-76.
- Strojnik, V. (1990). Biomehanske in fiziološke značilnosti mišičnega naprezanja. *Šport*, 38(1-2), 44-47.
- Stuart D.S., Ligley M.D., Grange R.W. in Houston M.E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 66(1), 49-54.
- Tillin, N. A. in Bishop, D., (2009). Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166.
- Vandervoort A.A. in McComas A.J., (1983). A comparison of the contractile properties of the human gastrocnemius and soleus muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 51(3), 435-440.
- Vandervoort A.A., Quinlan J. in McComas A.J., (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental Neurology* 81(1), 141-152.