

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

Kineziologija



**ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA
PO EKSCENTRIČNO-KONCENTRIČNEM NAPREZANJU**

DIPLOMSKO DELO

MENTORICA

izr. prof. dr. Katja Tomažin, prof. šp. vzg.

RECENZENT

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

Avtorica dela

KATJA KEPIC

Ljubljana, 2015

Zahvala

Rada bi se zahvalila vsem, ki so pripomogli k nastanku tega diplomskega dela. Posebna zahvala gre mentorici izr. prof. dr. Katji Tomažin za strokovno pomoč, nasvete in usmerjanje ob nastajanju diplomske naloge. Posebna zahvala gre tudi merjencem, ki so dva tedna redno prihajali na meritve. Hvala tudi domačim za moralno spodbudo.

Ključne besede: dolgotrajna post-aktivacijska potenciacija, skok z nasprotnim gibanjem, ekscentrično-koncentrično mišično naprežanje

ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA PO EKSCENTRIČNO-KONCENTRIČNEM NAPREŽANJU

Katja Kepic

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2015
Kineziologija

34 strani, 20 slik, 31 virov

IZVLEČEK

Namen diplomskega dela je bil dokazati obstoj izboljšanja delovanja živčno-mišičnega sistema zaradi predhodno izvedene ekscentrično-koncentrične kontrakcije z dodatnim bremenom. Zanimalo nas je, ali lahko s tovrstnim pliometričnim treningom (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, velikost dodanega bremena je bila 30% telesne teže) dosežemo izboljšanje višine in izbranih parametrov vertikalnega skoka z nasprotnim gibanjem po dvanajstih in štiriindvajset urah od izvedbe intervencije. Da bi to preverili, so merjenci (11 rekreativnih športnikov) izvedli 3 sklope skokov z nasprotnim gibanjem z dvanajsturnim razmikom (uvodna je bila izvedena zjutraj, druga popoldne in tretja zopet zjutraj). Eksperimentalna skupina je v uvodni meritvi izvedla intervencijo (pliometrični trening), med tem ko je kontrolna skupina izvedla samo skoke z nasprotnim gibanjem. Kratkotrajno potenciacijo (1 minuto po intervenciji) in dolgotrajno potenciacijo (12 in 24 ur po intervenciji) smo preverjali s skoki z nasprotnim gibanjem in jih primerjali med skupinama (EKS in KON) ter s skoki z nasprotnim gibanjem, izvedenimi pred intervencijo. Rezultati so pokazali, da do kratkotrajne potenciacije ni prišlo, izražen pa je bil značilen napredek v višini skoka po 12 ($32,8 \pm 4,8$ cm) in 24 urah ($33,4 \pm 4,5$ cm) v primerjavi z višino skoka pred intervencijo ($31,4 \pm 4,6$ cm), značilna pa je bila tudi razlika med skupinama EKS in KON po 24 urah ($p < 0,001$). Rezultati nazakujejo na obstoj dolgotrajne živčno-mišične potenciacije, vendar pa njeni mehanizmi niso znani.

Keywords: long-term post-activation potentiation, counter movement jump, concentric-eccentric muscle action

POST-ACTIVATION POTENTIATION AFTER ECCENTRIC-CONCENTRIC MUSCLE STRAIN

Katja Kepic

Faculty of sport, Ljubljana, Slovenia, 2015
Kinesiology

34 pages, 20 pictures, 31 references

ABSTRACT

The purpose of the study was to prove the existence of improving the functioning of the neuromuscular system due to previously implemented eccentric-concentric contraction with the additional load. We investigated whether plyometric type of training (6 tied jumps, 3 series, 2 min 30 s between batches, 30% of body weight added) to achieve improvement in vertical jump height and selected parameters of counter movement jump (CMJ) after twelve and twenty-four hours of the execution of the intervention. 11 recreational athletes participated in this study. They performed 3 sets of counter movement jumps with 12 hours between sets (first set was performed in the morning, second set in the afternoon and the third again in the morning). The experimental group, unlike the control group, carried out an intervention during the first measurement. Short-term potentiation (30 seconds after the intervention) and long-term potentiation (12 and 24 hours after intervention) were examined by performing countermovement jump and compared the jump heights between the two groups (experimental and control group) as well as between jumps, performed before and after intervention. The results showed that the short-term potentiation has not been expressed, while there was a significant improvement in jump height after 12 hours (32.8 ± 4.8 cm) and 24 hours (33.4 ± 4.5 cm) comparing it to jumps, carried out before the intervention (31.4 ± 4.6 cm). There was also a significant difference between the two groups after 24 hours ($p < 0.001$). Results therefore prove the existence of long-term neuromuscular potentiation but its mechanisms are still unknown.

Vsebinsko kazalo

1	UVOD.....	1
1.1	MIŠIČNO NAPREZANJE.....	1
1.2	MEHANIZMI AKTIVACIJE MIŠICE.....	2
1.3	EKSCENTRIČNO-KONCENTRIČNO NAPREZANJE.....	3
1.3.1	Skok z nasprotnim gibanjem.....	4
1.4	ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA.....	6
1.4.1	Kratkotrajni učinki živčno-mišične potenciacije.....	6
1.4.2	Mehanizmi kratkotrajnega izboljšanja živčno-mišičnega delovanja.....	7
1.4.3	Dolgotrajni učinki živčno-mišične potenciacije.....	8
1.4.4	Mehanizmi dolgotrajnih učinkov izboljšanja delovanja živčno-mišičnega sistema zaradi predhodnega mišičnega naprežanja.....	9
1.4.5	Živčno-mišična potenciacija v praktični uporabi.....	10
1.5	CILJI IN HIPOTEZE.....	12
2	METODE DELA.....	13
2.1	MERJENCI.....	13
2.2	PRIPOMOČKI.....	13
2.3	POSTOPEK.....	13
2.3.1	Protokol meritev.....	13
2.3.2	Statistična obdelava.....	16
3	REZULTATI.....	17
3.1	Višina skoka (cm) z nasprotnim gibanjem.....	17
3.2	Čas odziva (s) skoka z nasprotnim gibanjem.....	18
3.3	Povprečen pospešek (m/s^2) med skokom z nasprotnim gibanjem.....	20
3.4	Povprečna moč (W) skoka z nasprotnim gibanjem.....	21
3.5	Največja relativna moč (% telesne teže) med skokom z nasprotnim gibanjem.....	22
3.6	Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem – največja relativna sila zaviranja.....	24
3.7	Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem.....	25
4	RAZPRAVA.....	28
4.1	Kratkoročen učinek živčno-mišične potenciacije.....	28
4.2	Dolgotrajna živčno-mišična potenciacija.....	30
5	SKLEP.....	31
6	VIRI.....	32

1 UVOD

Sposobnost mišice, da ustvari silo, je v veliki meri odvisna od predhodnega naprežanja, torej njene kontraktilne zgodovine. Pričakovana in najbolj logična posledica mišičnega krčenja je seveda utrujenost, ki se kaže v zmanjšanju pričakovane sile, ki jo je mišica sposobna generirati. Predhodno mišično naprežanje pa lahko vodi tudi do izboljšanja delovanja živčno-mišičnega sistema, ki ga lahko imenujemo potenciacija, kar je glavna tema tega diplomskega dela. Pričakovati je, da sta po mišičnem naprežanju seveda prisotna tako utrujenost kot tudi mišična potenciacija, končna mišična sila pa je rezultat ravnovesja med njima. V nasprotju z utrujenostjo, ki zmanjša mišično silo, je mišična potenciacija začasno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega sistema, ki kontraktilne sposobnosti mišice dvigne na višjo raven od začetne (Docherty in Hodgson, 2007). Do mišične potenciacije pride lahko zaradi povečane občutljivosti miozinskih in aktinskih vlaken na Ca^{2+} in zaradi povečanja rekrutacije motoričnih enot (Bogdanis, Tsoukos, Veligakes, Tsolakis, Terezis, 2014). Do začasnega izboljšanja mišične funkcije zaradi mišične potenciacije pride tudi zaradi izboljšav na drugih nivojih živčno-mišičnega sistema in sicer na nivoju prenosa živčnega impulza preko sinapse in na nivoju prenosa akcijskega potenciala po membrani.

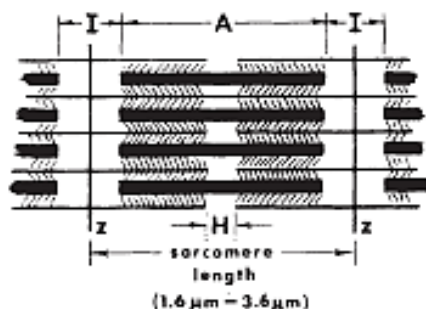
Trenerji skupaj s športniki, ki so najpomembnejši uporabniki športne znanosti, so v konstantnem iskanju novih metod za maksimaliziranje napredka v določenih motoričnih sposobnostih. V vrhunskem športu se dandanes izkorišča že zelo majhne detajle, ki naj bi športnika pripeljali korak dlje. Živčno-mišična potenciacija predstavlja eno izmed metod, ki bi lahko omogočila zeleni napredek.

Potenciacijo lahko izzovemo z mišičnem naprežanjem na več načinov, v tej raziskavi smo uporabili ekscentrično-koncentrično naprežanje z dodanim bremenom (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, velikost dodanega bremena je bila 30% telesne teže).

1.1 MIŠIČNO NAPREŽANJE

Gibanje človeškega telesa je odvisno od učinkovitega delovanja dveh velikih sistemov, in sicer mišičnega in živčnega. Mišice so generatorji gibanja in omogočajo premikanje telesnih segmentov ter stabilizacijo sklepov, živčni sistem pa mišice aktivira.

Osnovo živčno-mišičnega kompleksa predstavljaja motorična enota. To je skupek mišičnih vlaken, ki jih oživčuje alfa-motorični nevron. Skupek mišičnih vlaken lahko pomeni samo tri vlakna, lahko pa tudi do 2000 vlaken (Winter, 2009). Namreč mišice, ki izvajajo bolj grobe gibe, imajo večje motorične enote kot tiste, ki izvajajo fine gibe in imajo malo mišičnih vlaken v eni motorični enoti. Stik živca z mišičnim vlaknom imenujemo motorična ploščica in predstavlja točko, kjer se živčevje stika z mišičjem. Vlakna imajo nalogo, da proizvajajo silo. Miofibrile predstavljajo 80% mišičnega vlakna in potekajo vzdolž celotnega vlakna. Le-te pa so sestavljene iz več zaporedno vezanih sarkomer (Strojnik, 2013). Sarkomere so kontraktilni element (Slika 1) in predstavljajo del mišice, kjer se generira sila in kjer se mišica krči in sprošča kot pozitivno oz. negativno opravljeno delo (Winter, 2009). Sarkomere pa so sestavljene iz aktinskih (tankih) in miozinskih (debelih) miofilamentov, ki z medsebojnim drsenjem in pomikanjem Z-linije skupaj ustvarjata krčenje in obratno tudi relaksacijo mišice z drsenjem in razmikanjem Z-linije nazaj v začetno stanje.



Slika 1: Osnovna struktura kontraktilnega elementa, ki prikazuje Z-linije in dolžino sarkomere. Debelejši in temnejši miozinski filamenti v interakciji z aktinskimi filamenti preko prečnih mostičkov. Prikazani so tudi temnejši in svetlejši pasovi (A, H in I) (Winter, 2009)

Do mišičnega krčenja pride zaradi vzpostavljanja prečnih mostičkov in potiskanja aktinskega filameta proti sredini sarkomere. Potrebno je vrsto procesov, ki omogočajo vzpostavljanje prečnega mostička in razvoja sile mišičnega vlakna. Pri hoteni kontrakciji se vse začne z aktivacijo premotoričnega področja možganske skorje, bazalnih ganglijev in malih možganov, kjer se ustvari načrt za izvedbo giba. Sledi aktivacija telesa zgornjega motoričnega nevrona. Akcijski potencial nato potuje po direktni in indirektni motorični progi do spodnjega motoričnega nevrona oz. do motorične ploščice, kjer se živčni akcijski potencial pretvori v mišični akcijski potencial. Prenos akcijskega potenciala iz živčnega končiča na mišico omogoča acetilholin (ACh), ki se sprošča iz živčnega končiča motoričnega živca v sinaptično špranjo. Molekule Ach-ja se vežejo na receptorje v membrani mišičnega vlakna, kar odpre Na⁺ kanale. Tako lahko Na⁺ ioni vdrejo v celico, to pa pomeni spremembo vrednosti akcijskega potenciala membrane iz mirovanja (-90 mV) na 70 mV (Enoka, 2002). Ta sprememba omogoči širjenje akcijskega potenciala vzdolž mišičnega vlakna, nato pa po cevčicah T v notranjost mišične celice. Ko akcijski potencial doseže sarkoplazemski retikulum, v katerem so zaloge Ca²⁺, se prepustnost za Ca²⁺ ion poveča. To povzroči njihov vdor iz sarkoplazemskega retikuluma v mioplazmo. Tam se začne proces vezave Ca²⁺ na troponin C, kar povzroči odstranitev tropomiozina iz aktivnih mest na aktinu. Na ta aktivna mesta se nato vežejo miozinske glavnice, nastane prečni mostiček, mišično vlakno se skrči in proizvede se mišična sila.

Za sprostitev prečnega mostička pa se porablja ATP, ker ga je v mišici dovolj samo za 1 do 2 sekundi mišičnega dela, potekajo v njej aerobni in anaerobni procesi, ki omogočajo njegovo obnovo. ATP namreč omogoča delovanje kalcijeve črpalke, ki vrača Ca²⁺ nazaj v sarkoplazemski retikulum. Ko se zniža koncentracija Ca²⁺, tropomiozin zopet zasede mesto na troponinu C in aktivna mesta so blokirana. Posledica tega je prekinitev prečnega mostička in relaksacija mišice (Strojnik, 2013).

1.2 MEHANIZMI AKTIVACIJE MIŠICE

Mišica je sestavljena iz več motoričnih enot, zato je na mišično silo možno vplivati s spreminjanjem števila aktiviranih motoričnih enot (rekrutacija motoričnih enot) ali s spreminjanjem velikosti aktivacije že aktiviranih motoričnih enot (frekvenčna modulacija) ter njihove sinhronizacije (Winter, 2009).

Rekrutacija motoričnih enot ni naključna, vendar sledi točno določenemu zaporedju. Prvi dejavnik je načelo velikosti. Najprej se vključijo manjše motorične enote in nato večje. Najprej se torej vključijo majhni motonevroni, nato pa večji. Večje kot je število rekrutiranih motoričnih enot, tem bolj naraste sila v mišici. Delež maksimalne sile, ki ga lahko mišic doseže z rekrutacijo motoričnih enot pri različnih mišicah, ni enak. Pri nekaterih mišicah so verjetno vse motorične enote rekrutirane že pri 50% F_{max} , pri nekaterih pa se vse motorične enote rekrutirajo šele pri 85% F_{max} , nadaljnje povečevanje sile do 100% F_{max} pa je potem odvisno le še od frekvenčne modulacije in sinhronizacije (Enoka, 2002).

Poleg rekrutacije je povečanje sile v mišici tudi posledica povečevanja frekvence akcijskih potencialov, ki jo vzdražijo. Posamezen akcijski potencial povzroči aktivacijo mišice v obliki skrčka. Ko pa si akcijski potenciali sledijo v zelo kratkih časovnih presledkih, pa lahko pride do polne tetanične kontrakcije. Pri tej kontrakciji pa mišica nima več časa med posameznimi skrčki, da bi se sprostila, zato ostane aktivirana ves čas, kontrakcija pa je zato gladka.

Sinhronizacija motoričnih enot pa pomeni časovno ujemanje aktivacije vsaj dveh motoričnih enot, skoraj istočasno ali v točno določenem časovnem zaporedju znotraj mišice. Sinhronizacija obstaja znotraj mišice in med sinergističnimi mišicami. Večja kot je sinhronizacija, večja je proizvedena sila (Strojnik, 2013).

1.3 EKSCENTRIČNO-KONCENTRIČNO NAPREZANJE

Poseben tip mišičnega naprežanja, pri katerem najprej pride do aktivnega raztezanja mišice, nato pa še njenega krajšanja, imenujemo ekscentrično-koncentrično naprežanje. V ekscentričnem delu je zunanja sila večja od tiste, ki jo proizvaja mišica, zato se mišična pripoja oddaljujeta. Imenujemo jo tudi pliometrična ali negativna kontrakcija. Koncentričen del gibanja pa pomeni, da je sila mišice večja od zunanje sile. Mišica se krči, mišična pripoja se približujeta. To kontrakcijo imenujemo tudi miometrična ali pozitivna kontrakcija. Glavni namen ekscentrične kontrakcije pri ekscentrično-koncentričnem naprežanju je izboljšanje mehanskih značilnosti koncentrične kontrakcije, ki ji takoj sledi (Strojnik, 2013).

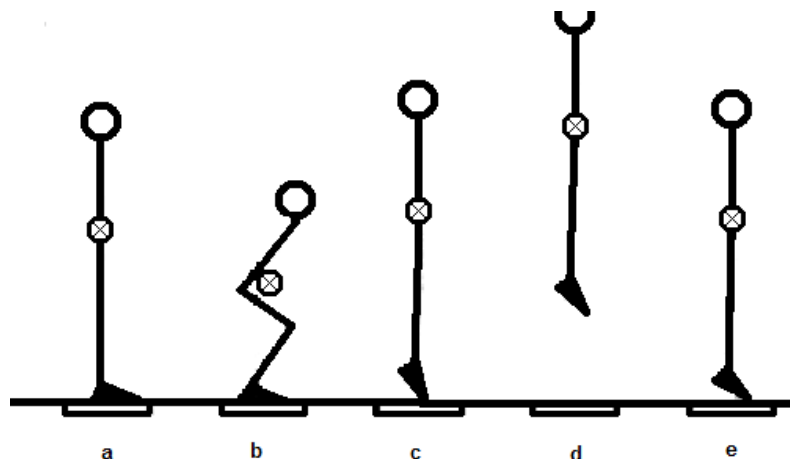
Ekscentrično-koncentrično naprežanje ima svoje prednosti. V primerjavi z zgolj koncentričnem gibanjem se več dela proizvede, če mišico aktivno raztegnemo, preden dovolimo krčenje. Če aktivno mišičo raztegnemo z zadostno hitrostjo, bo sposobna razviti večjo silo kot pri maksimalnem izometričnem naprežanju. Prednost tega tipa mišične kontrakcije je izkoriščanje elastičnosti mišično-tetivnega kompleksa in refleksov (Strojnik, 2013). V ekscentrični fazi se v mišično-tetivnem kompleksu shrani določena količina elastične energije, ki jo je mogoče uporabiti v koncentrični fazi. Večji del elastične energije se shrani v serialnih elastičnih elementih, kot so tetiva, aponevroza in prečni mostič, manjši del energije pa se shrani tudi v paralelnih elastičnih elementih, kot so mišične ovojnice, vezivno tkivo in sarkoleme. Izkoristek shranjene energije je odvisen od hitrosti preklopa iz ekscentričnega dela v koncentričnega. Energija, ki se shrani v mišično-tetivnem kompleksu je na vojo le kratek čas, namreč življajnska doba prečnega mostiča traja od 15 do 120 milisekund (Enoka, 2002).

Vzorec mišične aktivacije pri ekscentrično-koncentričnem naprežanju je sestavljen iz treh faz: predaktivacije, refleksno kontrolirane faze in zavestno kontrolirane faze. Predaktivacija določa začetno togost mišice ob raztezanju. Togost mišice omogoči določeno število vzpostavljenih prečnih mostičkov. Ko se aktivirana mišica začne

raztezati, je pomembno, da časovno ne preseže življenjske dobe prečnega mostiča (15 ms do 120 ms, odvisno od tipa mišičnih vlaken; počasna imajo daljšo dobo prečnega mostiča, hitra krajšo), saj je ključna t. i. togost na kratke razdalje (SRES) (Strojnik, 2013). Pri raztezanju aktivirane mišice se miozinska glavica zasuka v nasprotno smer kot pri koncentrični kontrakciji, poleg tega pa pride tudi do raztezanja vratu molekule miozina, zato se lahko elastična energija shrani v vratu molekule in glavi prečnega mostička. Miozinske glavice težijo nazaj v prvotni položaj, vrat molekule pa teži nazaj v svojo prvotno dolžino. Približno 40 ms po začetku ratezanja se pojavi refleksna aktivacija mišice, mehanski efekt pa na račun mehanske zakasnitve še nekoliko kasneje. Refleksna aktivacija povzroči še dodatno rekrutacijo motoričnih enot in povečanje frekvence akcijskih potencialov, ki se lahko odrazi tudi v boljši sinhronizaciji. Zavestna faza se začne približno 120 ms po začetku gibanja.

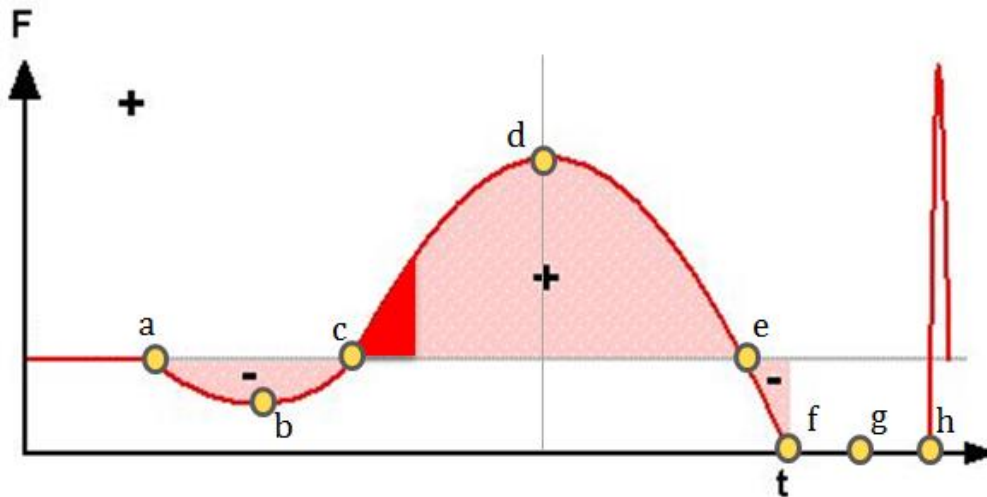
1.3.1 Skok z nasprotnim gibanjem

Skok z nasprotnim gibanjem (CMJ) je izveden z ekscentrično-koncentričnim naprežanjem, saj se začne z gibanjem navzdol (ekscentrično naprežanje) in se takoj nadaljuje v fazo odziva (koncentrično naprežanje). Skakalec začne gibanje (Slika 2) v vzravnanem, pokončnem položaju (a), z upogibom v kolenih in kolku težišče začne potovati navzdol (b), nato pa se skakalec z močnim in eksplozivnim iztegom v kolenih in kolku požene v zrak (c/d) in pristane spet na tleh (e) (povzeto po Brezavšček, 2010).



Slika 2: Skok z nasprotnim gibanjem (CMJ) (Brezavšček, 2010)

Vertikalno silo reakcije podlage v času med izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem lahko izmerimo s tenziometrijsko ploščo. Pri skoku z nasprotnim gibanjem lahko krivuljo vertikalne sile reakcije podlage v času razdelimo na posamezne faze (Slika 3).



Slika 3: Sila reakcije podlage pri skoku z nasprotnim gibanjem (Brezavšček, 2010)

a: Začetni položaj skakalca. Le-ta je v pokončnem položaju z rokami v bokih. Vertikalna sila reakcije podlage je enaka sili teže merjenca.

a–c: Skok se začne s spuščanjem težišča navzdol. Vertikalna sila reakcije podlage je manjša, kot je sila teže skakalca, zato ker težišče pospešuje navzdol.

b: Točka, kjer je pospešek gibanja težišča navzdol največji.

c: V tej točki je hitrost gibanja težišča navzdol največja, sila reakcije podlage je enaka sili teže.

c–d: Zaviranje. Skakalec začne pospeševati navzgor oziroma zavirati navzdol, težišče pa se še vedno znižuje.

d: Težišče je v najnižjem položaju, hitrost težišča je v tej točki enaka nič. Na tem mestu se ekscentrično naprezanje nadaljuje v koncentrično naprezanje. V idealnem primeru je vertikalna sila reakcije podlage največja.

d–e: Težišče pospešeno potuje navzgor.

e: Vertikalna sila reakcije podlage je zopet enaka sili teže. Hitrost gibanja težišča navzgor je najvišja.

e–f: Hitrost težišča se znižuje, ker je sila reakcije podlage manjša od sile teže, težišče skakalec se pomika navzgor.

f: Skakalec zapusti podlago in začne fazo leta.

g: Faza leta skakalca. Težišče skakalca je v tej točki najvišje.

h: Doskok na podlago.

rdeči del: Površina pod krivuljo predstavlja štartno moč.

Na višino CMJ najbolj vplivata parametra največje hitrosti, dosežene med izvedbo skoka in največja relativna sila (preračunana glede na telesno maso), ki jo je skakalec zmožen razviti med skokom (Pupo, Detanico in Santos, 2011).

Učinkovitost vertikalnega skoka je odvisna od mnogih faktorjev. Aragon-Vargas in Gross (1997) sta ugotovila, da imata na učinkovitost izvedbe vertikalnega skoka največji vpliv dva faktorja, in sicer položaj težišča telesa v točki odriva in vertikalna odrivna hitrost težišča. Nekateri drugi raziskovalci (Dowling in Vamos, 1993; Harman, Rosenstein, Frykman in Rosenstein, 1990 in Gross, 1997) pa so označili največjo moč med izvedbo skoka kot najboljši kazalec učinkovitosti vertikalnega skoka (Aragon-Vargas in Gross, 1997). Moč iztegovalk kolka je faktor, ki najlažje loči slabega skakalca od dobrega (Aragon-Vargas in Gross, 1997). Poleg teh parametrov pa ima na izvedbo skoka velik vpliv tudi tehnika skoka (Cormie, McBride in McCaulley, 2009).

1.4 ŽIVČNO-MIŠIČNA POTENCIACIJA

Živčno-mišična potenciacija je začasno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega kompleksa po predhodni mišični aktivnosti. Poznamo kratkotrajno potenciacijo in dolgotrajno potenciacijo. Slednja je še slabo raziskana, veliko pa je že znanega o mehanizmih kratkotrajne živčno-mišične potenciacije.

1.4.1 Kratkotrajni učinki živčno-mišične potenciacije

Odziv mišice na zavestno ali električno stimulacijo je največji meri odvisna od njene kontraktilne zgodovine. Pričakovana in najbolj logična posledica kontraktilne zgodovine mišice je živčno-mišična utrujenost, ki jo lahko opišemo kot upad moči po seriji ponavljajočega mišičnega naprežanja. Poleg utrujenosti pa se zgodovina mišične kontraktilnosti lahko izrazi tudi z izboljšanjem nadaljne mišične aktivnosti. Ta fenomen se imenuje post-aktivacijska živčno-mišična potenciacija. Čeprav sta si pojav utrujenosti in potenciacije nasprotujoča, se lahko izrazita hkrati. Najboljši učinek v mišični zmogljivosti se izrazi, ko posledice utrujanja začnejo izginjati, potenciacija pa še vedno traja (Hodgson, Docherty in Robbins, 2005). Raziskave govorijo o različnem trajanju učinkov živčno-mišične potenciacije, najbolj izraženi naj bi bili v času 8 do 12 minut po intervenciji (Kilduff, Finn, Baker, Cook, West, de Koning ... in Jenkins, 2013). Načinov za sproženje potenciacije pa je več.

Živčno-mišično potenciacijo lahko izzovejo različna mišična naprežanja – izometrična ali dinamična mišična naprežanja. Raziskave poročajo o različnih učinkovitostih posameznih vrst naprežanja, kot najbolj učinkovita intervencija pa je bila ugotovljena izometrična vrsta mišičnega naprežanja (Sale, 2002). Prav tako pa je učinek živčno-mišične potenciacije odvisen tudi od vrste post-aktivacijskega naprežanja. Kratkotrajni učinek živčno-mišične potenciacije bo večji na silovitost koncentričnega kot izometričnega naprežanja, saj je saturacija mioplazme s Ca^{2+} pri koncentričnem nižja kot pri izometričnem naprežanju.

Učinek živčno-mišične potenciacije pa ni odvisen samo od pred-aktivacijskega in post-aktivacijskega mišičnega naprežanja, temveč tudi od vrste mišičnih vlaken. Ugotovljeno je bilo, da se na živčno-mišično potenciacijo bolje odzovejo mišice, ki vsebujejo več hitrih vlaken oz. vlaken tipa II, kot pa mišice, ki imajo več počasnih vlaken oz. vlaken tipa I. Zato je zelo zanimivo, da pa ima živčno-mišična potenciacija vseeno največji učinek pri posameznikih, ki se ukvarjajo z aktivnostmi, kjer se motorične enote vključujejo relativno počasi (prevladujejo vlakna tipa I), torej kadar gre za vzdržljivostno aktivnost oz. dolgotrajna ponavljajoča submaksimalna mišična naprežanja (Sale, 2002). Prva možna razlaga je, da imajo vzdržljivostni športniki večjo odpornost na utrujanje, kar omogoči, da se učinek potenciacije bolj izrazi oz. prevlada nad utrujenostjo, druga

razlaga pa bi lahko bila, da imajo vzdržljivostni športniki nižji nivo aktivacije in zato več prostora za potenciацию. Živčno-mišična potenciación tudi značilno izboljša mišična naprežanja, pri katerih je poudarek na hitrosti in produkciji hitre moči, kot to zahtevajo balistična gibanja, skoki in šprint. Vendar pa je tu potrebno omeniti, da pri seriji mišičnih kontrakcij, ki so nad mejo submaksimalnih, vsaka kontrakcija (vsaj prvih nekaj kontrakcij) potencira naslednjo oz. okrepi učinek potenciación, ki je prisoten med aktivnostjo (Sale, 2002). V praksi se živčno-mišična potenciación največkrat izkorišča za izboljšanje hitre moči in povečanje eksplozivnosti giba.

1.4.2 Mehanizmi kratkotrajnega izboljšanja živčno-mišičnega delovanja

Živčno-mišično potenciación lahko sproži več mehanizmov. Prvi mehanizem, ki je odgovoren za živčno-mišično potenciación, je fosforilacija lahkih verig miozina in se v različnih virih tudi najpogosteje omenja kot odgovorni mehanizem za kratkotrajno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega sistema. Drugi mehanizem je hitrejša rekrutacija hitrih motoričnih enot, ki se zaradi živčno-mišične potenciación prej aktivirajo (drugače pa imajo višji prag rekrutacije). Nekateri viri pa navajajo še tretji mehanizem, ki naj bi pripomogel k potenciación, in sicer spremembe v kotu penacije mišični vlaken (Tillin in Bishop, 2009).

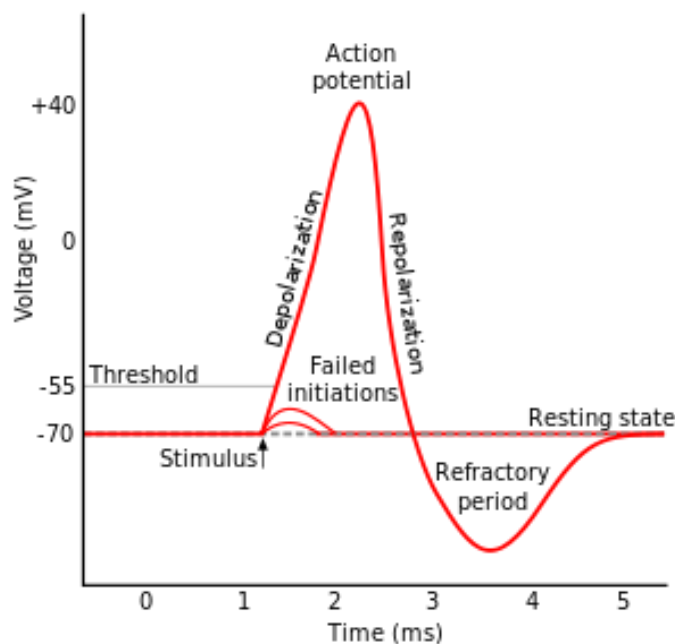
S fosforilacijo lahkih verig miozina se poveča afiniteta prečnih mostičkov do aktina in poviša hitrost pripenjanja (Emeršič, 2012). Miozinska molekula je sestavljena iz dveh težkih verig miozina, vsaka s svojo miozinsko glavico, na kateri je lahka regulatorna veriga miozina. Vsaka od teh dveh lahkih regulatornih verig miozina ima specifično mesto za vezavo molekule fosfata. Fosforilacijo RLC povzroči encim kinaze lahkih verig miozina (Tillin in Bishop, 2009), ki fosforilira lahke verige miozina na vratu miozinske glave in s tem omogoči pripetje miozinskih glav na aktinsko vlakno (Emeršič, 2012). Zaradi fosforilacije so aktinska in miozinska vlakna bolj občutljiva na Ca^{2+} , ki se sprostijo iz sarkoplazme (Hodgson, Docherty, Robbins, 2005). To je mehanizem, ki deluje na nivoju mišice oz. sarkomere.

Drugi mehanizem je povečana rekrutacija motoričnih enot, ki pa deluje na nivoju živčevja. Namreč povečala naj bi se vzdražnost na spinalnem nivoju, ki se kaže v povečanem valu H. Posledica večje vzdraženosti je večja rekrutacija hitrih motoričnih enot in njihov nižji prag rekrutacije (Tillin in Bishop, 2009).

Naslednji mehanizem pa deluje prevsem na mehanskem nivoju. Vpliv na potenciación pa ima tudi kot penacije mišičnih vlaken v mišici. Namreč manjši je ta kot, večji je prenos sile na tetive. Nekaj minut po izvedenem maksimalnem mišičnem naprežanju naj bi se ta kot značilno zmanjšal. Ta sprememba ima sicer manjši vpliv na povečanje prenosa sile na tetive (0,9%), vendar je možno, da tudi sprememba v mišični arhitekturi prispeva k učinku potenciación (Tillin in Bishop, 2009).

Do začasnega izboljšanja delovanja mišice zaradi mišične potenciación lahko pride tudi zaradi vpliva predhodnih naprežanj na prenos živčnega impulza preko sinapse in prenos akcijskega potenciala po membrani. Živčni impulz se preko sinapse, ki predstavlja živčno-mišični stik (motorična ploščica) prenese kot živčni akcijski potencial nastane mišični akcijski potencial. Akcijski potencial (Slika 4) predstavlja pojav, ki nastane, ko se membrana živčne celice depolarizira do določene vrednosti membranskega potenciala, ki jo imenujemo prag vzdraženosti (-55 mV). Ko je ta prag dosežen, se odprejo natrijevi kanali in povzročijo prehajanje Na^{+} v celico, membranski potencial se nato povzpne na +30 mV. Povečanje Na^{+} v celici zapre natrijeve kanale in odpre kalijeve, povečana koncentracija K^{+} pa povzroči repolarizacijo, torej ponoven

upad membranskega potenciala proti začetnemu mirovnemu potencialu, ki je od -90 mV do -70 mV. Preden se mirovni potencial dokončno ustali je nekaj časa celo bolj negativen kot na začetku, vendar ponovno ravnovesje vzpostavi Na-K črpalka.



Slika 4: Prikaz akcijskega potenciala (Action potential, 2015)

Živčno-mišična potenciacija je torej rezultat različnih mehanizmov, in sicer mišičnih, živčnih in mehanskih.

Za ugotavljanje sprememb v stopnji vzdraženosti motoričnih vlaken pa se najpogosteje uporablja H-refleks. To je najbolj množično ter podrobno proučevan refleks v človeški nevrofiziologiji. Je monosinaptični odgovor mišice na umetno povzročen električni dražljaj na periferni živec (Enoka, 2002). Amplituda refleksa H je odvisna od števila in velikosti rekrutiranih motoričnih enot (Hodgson, Docherty in Robbins, 2005). Uporablja se ga za testiranje vzdražnosti živčno-mišičnega sistema, raziskovanje funkcionalne organiziranosti živčnih poti, za ugotavljanje sprememb v vzdražnosti hrbtenjače, modulaciji predsinalptične inhibicije Ia aferentnih vlaken in adaptacij hrbtenjačnih struktur v zdravju ter bolezni. Spremembe v amplitudi so lahko razložene na tri načine: (1) na podlagi sprememb v vzdražnosti motoričnih nevronov, (2) variacijah v količini sproščenega nevrottransmitra s strani aferentnih terminalov in (3) v notranjih lastnostih samih motonevronov (Misiaszek, 2003). Živčno-mišična potenciacija naj bi povzročili povečanje amplitude vala H, kar posledično lahko pomeni večjo vzdraženost, manjšo predsinalptično inhibicijo Ia in posledično večjo frekvenco akcijskih potencialov, ki potujejo v mišico (Hodgson, Docherty in Robbins, 2005).

1.4.3 Dolgotrajni učinki živčno-mišične potenciacije

Dolgotrajna živčno-mišična potenciacija predstavlja izboljšano delovanje živčno-mišičnega sistema od 6 do 24 po izvedenem mišičnem naprežanju. Mehanizmi dolgotrajnega učinka intervencij, ki povzročijo kratkotrajno izboljšanje delovanja živčno-mišične potenciacije so zaenkrat še dokaj neraziskani. Kljub temu obstajajo dokazi, da predhodni trening moči ali šprinta izboljša delovanje živčno-mišičnega

sistema tudi v obdobju od 6 do 12 ur po njemu. Študije, ki govorijo o dolgoročnem izboljšanju mišične aktivnosti zaradi predhodno izvedenega treninga moči, ta pojav poimenujejo kar vpliv jutranjega treninga na popoldansko aktivnost, v bistvu pa gre za pojav dolgotrajnega učinka intervencij, ki povzročijo izboljšanje živčno-mišičnega delovanja zaradi predhodnega mišičnega naprežanja.

Gerraughty (2009) je želela ugotoviti možnost izboljšanja eksplozivne moči po predhodno izvedenem treningu moči. Merjenci (izkušeni metalci na področju atletike) so na eksperimentalni dan zjutraj izvedli kratek trening moči, popoldne (4 do 6 ur po jutranjem treningu) pa dva testa eksplozivne moči. Ta dva testa sta bila met medicineke nad glavo in vertikalni skok. Kontrolni dan je vseboval le popoldanski del testiranja eksplozivne moči. Trening moči je zajemal počepe z utežjo (20 kg) (ang. back squat) in nalog uteži (20 kg) na prsi s sočasnim vertikalnim skokom (ang. power clean). Rezultati so pokazali, da se največja moč med vertikalnim skokom ni značilno izboljšala zaradi predhodno izvedenega treninga, medtem ko se je izvedba meta medicineke značilno izboljšala. Možna razlaga za tak rezultat bi bila lahko v povezavi z vrsto treniranosti merjencev, saj so bili merjenci trenirani metalci.

Podobne meritve so izvedli Cook, Kilduff, Crewther, Beaven in West (2014) in ugotovili značilno izboljšanje največje moči med izvedbo CMJ skokov in izboljšanje časov pri šprintih na 40 m po predhodno (6 ur prej) izvedenem treningu moči, ki je zajemal pet šprintov na 40 metrov skupaj s tremi ponovitvami potiska s prsi (3 RM) in tremi ponovitvami počepov (back squat) (3 RM).

Po drugi strani pa Woolstenhulme, Bailey, in Allsen (2004) niso ugotovili značilnega izboljšanja v višini vertikalnega skoka 6 ur po jutranjem treningu moči. Njihov trening moči oz. intervencija pa je zajemala 7 vaj za celo telo, izvedenih v 3 – 6 serijah z obremenitvijo od 5 do 12 maksimalnih ponovitev (RM).

Preverjanje dolgotrajnega učinka predhodnega mišičnega naprežanja oziroma jutranjega treninga moči na izboljšanje kasnejše mišične aktivnosti ima zelo veliko dejavnikov, ki vplivajo na izmerjene rezultate. Zato rezultati niso enotni in se lahko izkažejo v prid dolgotrajnim učinkom, ki nastanejo zaradi predhodnega mišičnega naprežanja ali pa tudi ne. Individualizacija je zato ključnega pomena.

1.4.4 Mehanizmi dolgotrajnih učinkov izboljšanja delovanja živčno-mišičnega sistema zaradi predhodnega mišičnega naprežanja

Medtem ko so mehanizmi kratkotrajne živčno-mišične potenciacije že zelo dobro raziskani, pa mehanizmi dolgotrajnih učinkov potenciacije niso.

Post-aktivacijska živčno-mišična potenciacija je dokazan fenomen, ki naj bi svoj kratkotrajni učinek izgubil že 16 do 20 minut po izvedeni mišični stimulaciji. Za dolgotrajni učinek pa se zdi malo verjetno, da bi veljali enaki mehanizmi, kot pri kratkotrajnem učinku (povečana občutljivost aktinskih in miozinskih vlaken na Ca^{2+} , povečana rekrutacija motoričnih enot in manjši kot penacije), zato bi lahko k dolgotrajnemu učinku prispevali drugi mehanizmi, kot so hormonske spremembe in psihološke spremembe, ki so v veliki medsebojni povezavi (večja količina testosterona vpliva na zmanjšanje strahu in povečanje motivacije). Jutranji trening moči kot intervencija potenciacije bi lahko vplivala na povečano vrednost testosterona in kortizola, kar lahko pripelje do izboljšanja rezultata popoldne (Cook idr., 2014).

Poleg hormonskih mehanizmov pa so možne tudi nevrnalne spremembe. Peterson (2009) je v svoji raziskavi glede nevrnalnih prilagoditev na trening moči ugotovil tendenco večje vzdraženosti živčnih poti (merjeno preko H-refleksa) med aktivacijo mišice rectus femoris štiriindvajset ur po izvedenem treningu moči. Merili so namreč maksimalen izometričen izteg kolena takoj po ter štiriindvajset ur po treningu moči. Možen nevrnalni mehanizem je zmanjšana intra-kortikalna inhibicija, ki posledično lahko poveča vzdraženost korteksa in s tem dvigne nivo aktivacije sklada motonevronov.

1.4.5 Živčno-mišična potenciacija v praktični uporabi

Živčno-mišična potenciacija je kot sredstvo za izboljšanje mišične akcije postala pogosto obravnavana tema med raziskovalci in narasla je tudi uporaba te metode med trenerji. Vseeno pa učinkovita uporaba metode potenciacije glede na izvedene raziskave ostaja dvoumna. Nobena raziskava še ni potrdila te metode za bolj učinkovito od drugih (na primer kvalitetno ogrevanje), hkrati pa moramo upoštevati tudi, da na učinek potenciacije vpliva več faktorjev, kot so časovna razlika med izvedeno intervencijo in ciljno aktivnostjo, tip mišičnih vlaken, intenzivnost med intervencijo, vrsta intervencije, pa tudi treniranost posameznika (Docherty in Hodgson, 2009). Zato je v večini primerov raziskave potrebno obravnavati samostojno in rezultatov ne moremo posploševati. Prav tako je večkrat omenjeno, da so ugotovili velike variabilnosti med preizkušanci, zato je priporočeno individualno obravnavanje športnika, kadar prenašamo teorijo v prakso. Velika dilema, o kateri razglabljata tudi Docherty in Hodgson (2009), pa se nanaša na dolžino odmora med intervencijo in ciljno mišično aktivnostjo. Namreč potenciacija se najmočneje izrazi v časovnem intervalu do 11 minut po intervenciji, vrhunec učinka potenciacije pa je v tem intervalu odvisen tudi od vrste intervencije.

Bogdanis idr. (2014) so ugotavljali katera izmed tipov mišičnih kontrakcij (izometrična/koncentrična/ekscentrična) povzroči največje izboljšanje izvedbe vertikalnega skoka. Ugotovili so, da je največje izboljšanje dosegla intervencija z izometričnim krčenjem (2 do 10 minut po intervenciji), koncentrična in ekscentrična pa manj. Do enakega zaključka so prišli Rixon, Lamont in Bemben (2007), ki so primerjali vpliv maksimalne izometrične kontrakcije in dinamičnega izvajanja počepov na skok z nasprotnim gibanjem. Obstaja pa še nekaj raziskav, kjer je bilo ugotovljeno, da najboljši efekt povzroči koncentrično gibanje (Turki, Chaouachi, Drinkwater, Chtara, Chamari, Amri in Behm, 2011) ali pliometrično oz. ekscentrično gibanje (Tsolakis, Bogdanis, Nikolaou in Zacharogiannis, 2011).

Kratkotrajno živčno-mišično potenciacijo izkoriščamo, kadar želimo videti takojšnji napredek v mišični akciji. Uporabi se lahko med samim treningom, za treniranje moči in eksplozivnosti. Živčno-mišično potenciacijo največkrat uporabimo pri t.i. kompleksnem treningu (ang. complex training). To je trening, pri katerem se izmenjujejo serije vaj za moč za določeno mišično skupino in pliometrične vaje za to isto mišično skupino. Primer takega treninga za izboljšanje eksplozivnosti vertikalnega skoka bi lahko zajemal najprej 3 serije po 6 počepov (12RM) s 60-sekundno pavzo med serijami in za tem še 3 serije po 6 ekscentrično-koncentričnih globinskih skokov. Comyns, Harrison in Hennessy (2010) so ugotovili, da ima večkratno izvajanje kompleksnega treninga vpliv na izboljšanje izvedbe šprinta, Santos in Janiera (2008) pa sta dokazala, da kompleksen trening izboljša skok iz polčepa, skok z nasprotnim gibanjem, met medicinke in Abalakov test agilnosti (4x10 m agilnega testa in maksimalen vertikalni skok).

Kratkotrajni učinek potenciacije bi lahko uporabili tudi med ogrevanjem. Till in Cooke (2009) sta z raziskavo želela ugotoviti smiselnost uporabe treninga potenciacije v

ogrevalnem delu treninga nogometašev. Izvedla sta različne protokole ogrevanja in preverjala učinek le-teh na izvedbo šprinta in vertikalnih skokov nogometašev. Poleg kontrolne skupine so preizkušanci v ogrevanju izvajali 3 različne protokole, in sicer (1) mrtvi dvig (5 ponovitev, 5RM), (2) vertikalni skok z visokim dvigom kolen (5 ponovitev) in (3) največji izometrični izteg kolena (3 ponovitve po 3 sekunde). 4, 5 in 6 minut po ogrevanju so izvedli 10 m in 20 m šprinta in 7, 8 in 9 minut po ogrevanju še vertikalne skoke. Rezultati so pokazali, da noben izmed protokolov ni izboljšal šprinta ali vertikalnega skoka v primerjavi s kontrolno skupino. Ugotovila sta torej, da potenciacijski trening v ogrevanju ne vpliva na izboljšanje šprinta ali vertikalnega skoka.

Dolgotrajne učinke treninga moči pa pogosto izkoriščajo atleti za izboljšanje eksplozivnosti na tekmah. Dan pred tekmo izvedejo predhodno mišično aktivacijo (t.j. trening moči ipd). Primer takega treninga lahko vključuje tudi nekaj kratkih šprintov ter ekscentrično-koncentrične skoke iz gležnjev z dodatnim bremenom. Podobno se želi doseči izboljšanje z izvajanjem jutranjega treninga, kjer pa je princip popolnoma enak, le da je tu manjša časovna razlika med treningom in mišično aktivnostjo, ki jo želimo izboljšati.

1.5 CILJI IN HIPOTEZE

Cilj diplomske naloge je dokazati obstoj izboljšanja delovanja živčno-mišičnega sistema (t.j. višje višine skoka z nasprotnim gibanjem) 1 minuto, 12 in 24 ur po izvedbi ekscentrično-koncentričnega mišičnega naprežanja (6 poskokov, 3 serije, 2 min 30 s odmora, breme 30% telesne teže). Glede na ta cilj smo postavili več hipotez.

H1: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila takojšnje povečanje višine skoka z nasprotnim gibanjem.

H2: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila povečanje višine skoka z nasprotnim gibanjem 12 in 24 ur po potenciranju.

H3: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila takojšnje skrajšanje časa odriva skoka z nasprotnim gibanjem.

H4: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila skrajšanje časa odriva skoka z nasprotnim gibanjem 12 in 24 ur po potenciranju.

H5: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila takojšnje povečanje povprečnega pospeška odriva skoka z nasprotnim gibanjem.

H6: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila povečanje povprečnega pospeška odriva skoka z nasprotnim gibanjem 12 in 24 ur po potenciranju.

H9: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila takojšnje povečanje relativne moči (% telesne teže) in relativne sile ekscentričnega in koncentričnega dela odriva pri skoku z nasprotnim gibanjem.

H10: Predhodna aktivacija z ekscentrično-koncentričnim mišičnim naprežanjem bo povzročila povečanje relativne moči (% telesne teže) in relativne sile ekscentričnega in koncentričnega dela odriva pri skoku z nasprotnim gibanjem 12 in 24 ur po potenciranju.

H11: Izmerjeni parametri skoka takoj po potenciranju ter 12 in 24 ur po intervenciji se bodo med seboj razlikovali.

H12: Izmerjeni parametri skoka z nasprotnim gibanjem po intervenciji se bodo razlikovali od parametrov skoka brez intervencije v istih časovnih točkah.

2 METODE DELA

2.1 MERJENCI

V raziskavo je bilo vključenih 11 merjencev (3 ženske, 8 moških) povprečne starosti 22,9 let \pm 1,2 leti, s povprečno težo 77,8 kg \pm 10,2 kg. Vsi merjenci so rekreativni športniki, niso visoko trenirani. Glede poteka meritev in načina izvedbe skoka z nasprotnim gibanjem ter ekscentrično-koncentričnega skoka iz gležnjev so bili merjenci seznanjeni pred začetkom. Nihče izmed merjencev ni bil v času merjenja poškodovan. Merjenci so podpisali informirano privolitev. Raziskava pa je bila narejena v skladu s Helsinsko-tokijsko deklaracijo.

2.2 PRIPOMOČKI

Za izvedbo meritev smo uporabili 25 cm visoko stopničko, metronom, elastiko za določitev najnižje točke, do kamor se je merjenec med skokom lahko spustil ter dve stojali, med katera je bila elastika vpeta. Za merjenje telesne teže in parametrov skoka z nasprotnim gibanjem smo uporabili tenziometrijsko ploščo proizvajalca Kistler (Winterthur, Švica), model 9287A, signal pa smo okrepili z nabojnim ojačevalnikom istega proizvajalca, model 9865E1Y28, ter ga nato zajemali in vzorčili s frekvenco 2000 Hz. Podatke smo zajemali s programom ARS (S2P, Ljubljana, Slovenija). Za intervencijo pa smo potrebovali drog (11 kg) in različne uteži, da smo dobili 30% merjenčeve telesne teže, s katero je izvedel trikrat po šest poskokov iz gležnja.

2.3 POSTOPEK

Vse meritve so potekale v Laboratoriju za kineziologijo Fakultete za šport v Ljubljani. Izvedenih je bilo 6 meritev, 2 sklopa po 3 meritve. Drugi sklop meritev je sledil prvemu po enem tednu. En sklop meritev je zajemal skupno tri meritve s časovnim razmakom dvanajstih ur. Uvodna meritev je bila izvedena prvi dan zjutraj, druga isti dan popoldne, po dvanajstih urah od uvodne meritve in tretja meritev drugi dan zjutraj, po štiriindvajsetih urah od uvodne meritve. Vseh enajst merjencev se je udeležilo šestih meritev. Eden izmed dveh sklopov je bil kontrolni, drugi, ki je vseboval izvedbo intervencije, pa eksperimentalni. Merjenci so bili razvrščeni po sklopih meritev naključno, tako da jih je šest izvajalo kontrolno meritev prvi teden in eksperimentalno drugi teden, ostalih pet merjencev pa obratno.

2.3.1 Protokol meritev

2.3.1.1 Uvodna meritev eksperimentalnega sklopa

Pred začetkom meritev se je merjenec postavil na tenziometrijsko ploščo, kjer smo s s programom ARS izmerili njegovo telesno težo. Nato smo nastavili višino elastike, ki je bila merjencu namenjena kot orientacija za najnižjo točko, do kamor se lahko spusti s telesom med skokom z nasprotnim gibanjem. Elastiko smo nastavili tako, da je v najnižji

dovoljeni točki spusta telesa med skokom dosegel 90° med golenico in stegnenico. Sledilo je standardizirano ogrevanje: stopanje na 25 cm visoko stopničko v določenem ritmu, ki je bil določen z metronomom, in sicer 120 u/min. Merjenec je vsako minuto zamenjal nogo. Po šestih minutah stopanja je merjenec izvedel še dve dinamični gimnastični vaji. Prva gimnastična vaja (GV1) je bil zamah rahlo pokrčene noge naprej v prednoženje in nato še nazaj v zanoženje. Druga gimnastična vaja (GV2) pa je bil predklon v sedu proti iztegnjeni nogi, druga je bila pokrčena. Po ogrevanju je merjenec izvedel še 5 počepov na tenziometrijski plošči, da je dobil občutek, do katere točke se med skokom še lahko spusti. Po desetih minutah od začetka ogrevanja je merjenec izvedel 3 skoke z nasprotnim gibanjem v razmiku 1 minute. Sledila je intervencija. Merjenec je izvedel 3 serije šestih poskokov z dodatnim bremenom, ki je znašal 30% njegove telesne teže. Ekscentrično-koncentrični poskoki iz gležnja so morali biti v čim krajšem času čim višji. Med serijami sta bila odmora po 3 minute. Po zadnji seriji potenciacije je bil odmor dolg 1 minuto, sledili pa so zopet trije skoki iz počepa z nasprotnim gibanjem, med katerimi je bil odmor 1 minuto. To je bil zadnji del meritev. Pri vsakem sklopu treh skokov z nasprotnim gibanjem pri vseh meritvah smo v obravnavo vzeli najvišjega izmed teh treh. Protokol uvodne meritve eksperimentalnega sklopa meritev je prikazan v Tabeli 1.

2.3.1.2 Druga in tretja meritev eksperimentalnega sklopa

Dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi smo izvedli meritev, ki se je začela popolnoma enako, kot uvodna meritev, torej s standardiziranim ogrevanjem (6 minut stopanja na stopničko in dve gimnastični vaji) in petimi počepi, nato pa na deseto minuto začel s serijo treh skokov z nasprotnim gibanjem. Druga in tretja meritev eksperimentalnega sklopa sta se po teh treh skokih zaključili.

Sklop kontrolnih meritev

Uvodna meritev ter meritvi dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi se pri kontrolnem sklopu med seboj niso razlikovale. Kontrolne meritve so bile enake drugi in tretji meritvi eksperimentalnega sklopa, torej brez intervencije in druge serije skokov z nasprotnim gibanjem.

Tabela 1: Protokol uvodne meritve eksperimentalnega sklopa meritev (CMJ – skok z nasprotnim gibanjem; GV1 – prva dinamična gimnastična vaja; GV2 – druga dinamična gimnastična vaja).

ČAS (min:sek)	AKTIVNOST	
00:00	Ogrevanje	stopanje
06:00		GV1 (D), 8x
06:30		GV1 (L), 8x
07:00		GV2 (D), 8x
07:30		GV2 (L) 8x
08:30		Počepi, 5x
10:00	CMJ	
10:30	CMJ	
11:00	CMJ	
12:00	Potenciacija	1. serija - EKS-KON poskok 6x
15:00	Potenciacija	2. serija - EKS-KON poskok 6x
18:00	Potenciacija	3. serija - EKS-KON poskok 6x
19:00	CMJ	
19:30	CMJ	
20:00	CMJ	



Slika 5: Izvedba skoka z nasprotnim gibanjem (lastni arhiv)



Slika 6: Izvedba ekscentrično-koncentričnega skoka z dodatnim bremenom (lastni arhiv)

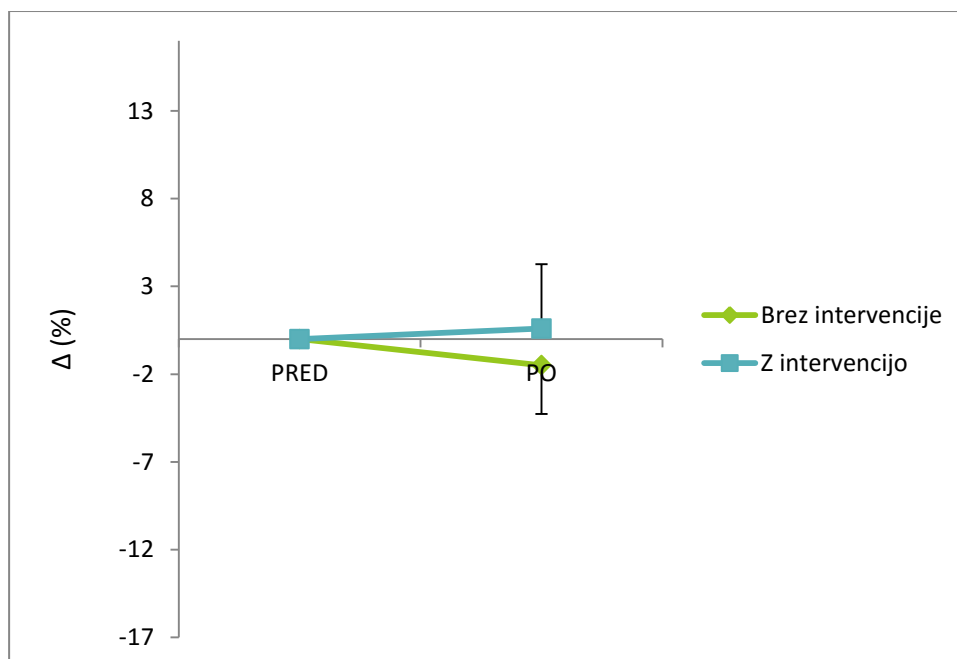
2.3.2 Statistična obdelava

Na osnovi podatkov, ki smo jih pridobili preko tenziometrijske pošče, na kateri so se izvajali skoki, smo izločili 11 parametrov, ki so pomembni za analizo teh skokov. Ti parametri so: višina skoka, vertikalna hitrost odriva, čas odriva, povprečna hitrost, povprečen pospešek, povprečna sila, povprečna moč, impulz sile odriva, največja relativna moč (% telesne teže), največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka in največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela skoka. Za vse parametre so bile izračunane povprečne vrednosti in povprečni odkloni. Normalnost porazdelitev je bila preverjena s Kolmogorov-Smirnov testom. Dvosmerna analiza variance za ponavljajoče 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 ponavljajoče 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

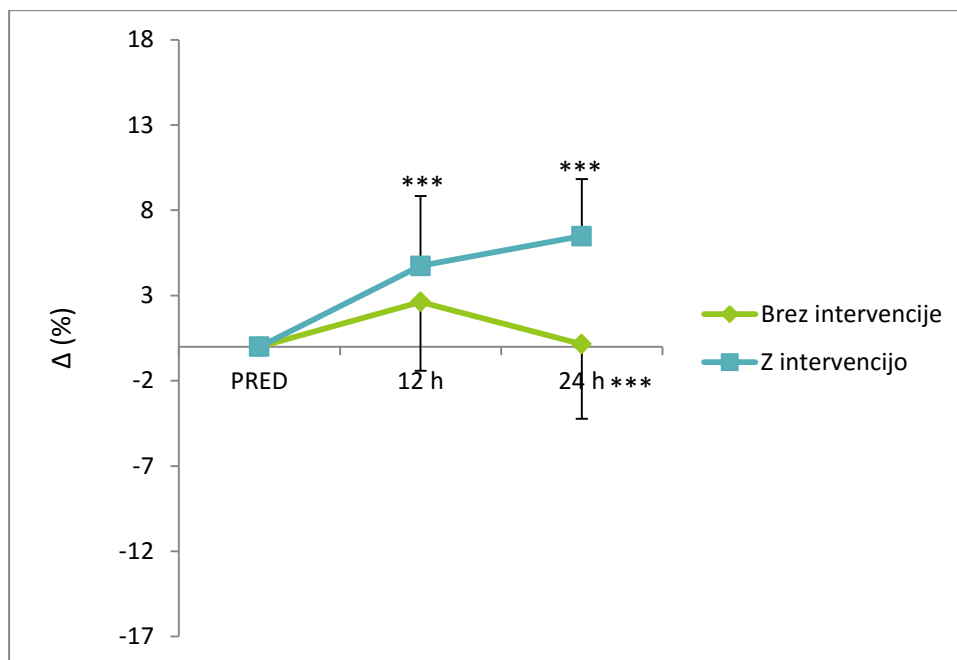
3.1 Višina skoka (cm) z nasprotnim gibanjem

Povprečna višina skokov z nasprotnim gibanjem se 1 minuto po intervenciji ni značilno razlikovala od povprečne višine izvedbe skoka brez intervencije ($F_{1,10} = 3,2$; $p = 0,10$; Slika 7). Povprečna višina skoka po intervenciji je bila $31,6 \pm 5,0$ cm. Višina skoka z nasprotnim gibanjem ni bila značilno različna pred eksperimentom brez ($31,8 \pm 4,8$ cm) in z intervencijo ($31,4 \pm 4,6$ cm; $p > 0,05$).



Slika 7: Sprememba višine skoka (Δ (%)) – izračunana glede na višino skoka pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).

Dvanajst ur po intervenciji je bila povprečna višina skokov z nasprotnim gibanjem $32,8 \pm 4,8$ cm in je bila značilno višja kot pred intervencijo ($F_{2,20} = 10,7$; $p < 0,001$; Slika 8). Štiriindvajset ur po intervenciji je bila višina skoka tudi višja kot pred intervencijo in je znašala $33,4 \pm 4,5$ cm. Štiriindvajset ur po intervenciji smo izračunali tudi statistično značilno razliko med izvedbo z in brez intervencije. Povprečna višina skokov z nasprotnim gibanjem se ni statistično razlikovala med tremi merjenimi časovnimi točkami (t.j. pred, 12 ur po in 24 ur po prvi meritvi), ko merjenci niso izvedli intervencije (Slika 8).

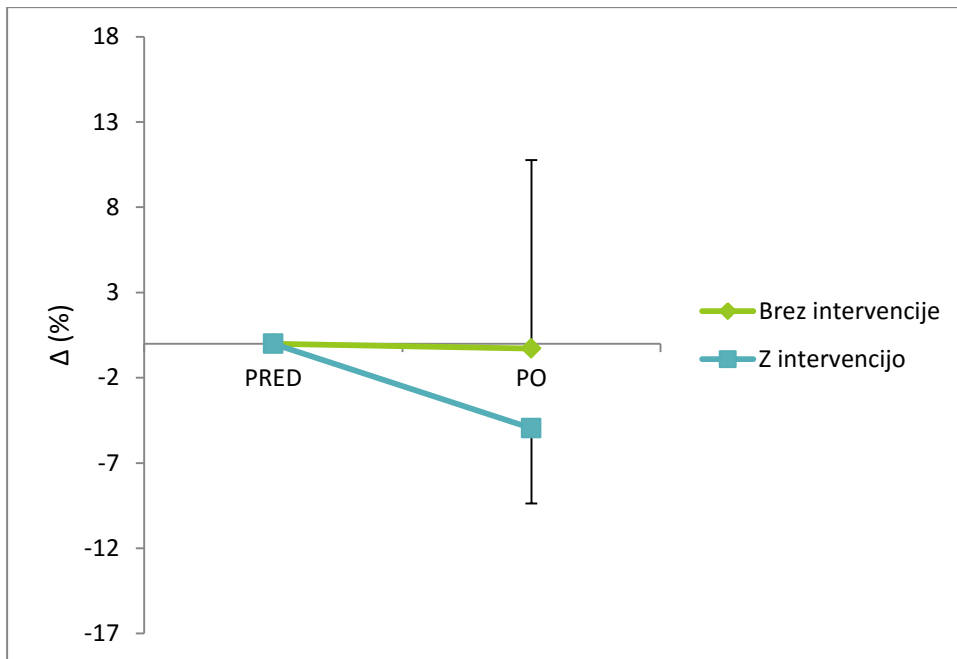


Slika 8: Sprememba povprečne višine skokov (Δ (%)) – izračunana glede na višino skoka pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in 12 h ter 24 h po intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; *** – $P < 0,001$

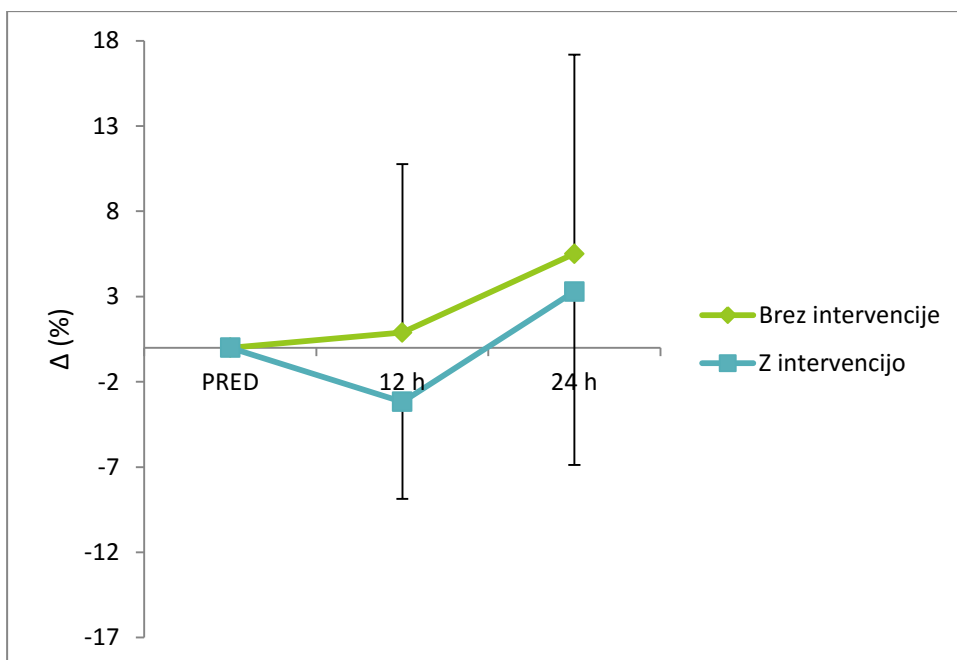
3.2 Čas odriva (s) skoka z nasprotnim gibanjem

Povprečen čas odriva skoka z nasprotnim gibanjem 30 s po intervenciji ni bil drugačen od časa odriva skoka pri eksperimentu brez intervencije, saj faktorji intervencije ($F_{1,10} = 1,43$), časa ($F_{1,10} = 2,80$) in interakcije x časa ($F_{1,10} = 0,85$) niso bili statistično značilni (Slika 9). Čas odriva skoka je pri obeh uvodnih meritvah znašal $0,23 \pm 0,03$ s. 1 minuto po intervenciji pa je znašal $0,21 \pm 0,03$ s, medtem ko je pri protokolu brez intervencije znašal $0,23 \pm 0,2$ s.

Prav tako ni bilo značilnih razlik v času odriva skoka z nasprotnim gibanjem dvanajst ter štiriindvajset ur po intervenciji v primerjavi s skoki dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi brez intervencije ($F_{2,20} = 0,35$; $P = 0,71$, Slika 10). Čas odriva je dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji znašal $0,22 \pm 0,03$ s in $0,23 \pm 0,06$ s, pri eksperimentu brez intervencije pa je dvanajst in štiriindvajset ur po uvodni meritvi znašal $0,23 \pm 0,02$ s in $0,24 \pm 0,03$ s.



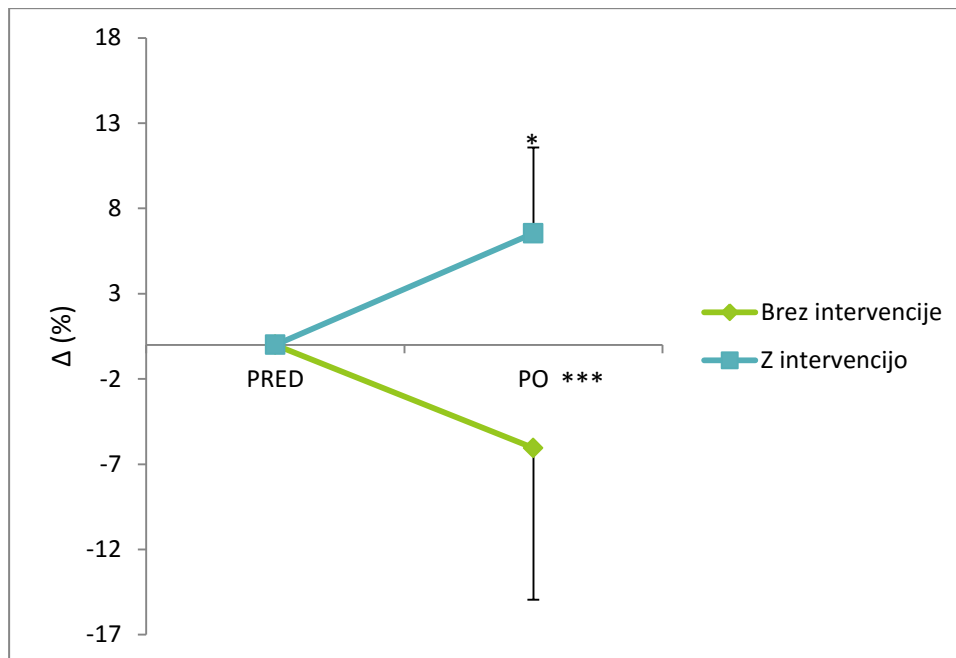
Slika 9: Sprememba časa odriva (Δ (%)) – izračunana glede na čas odriva pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).



Slika 10: Relativna sprememba časa odriva (Δ (%)) – izračunana glede na čas odriva pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).

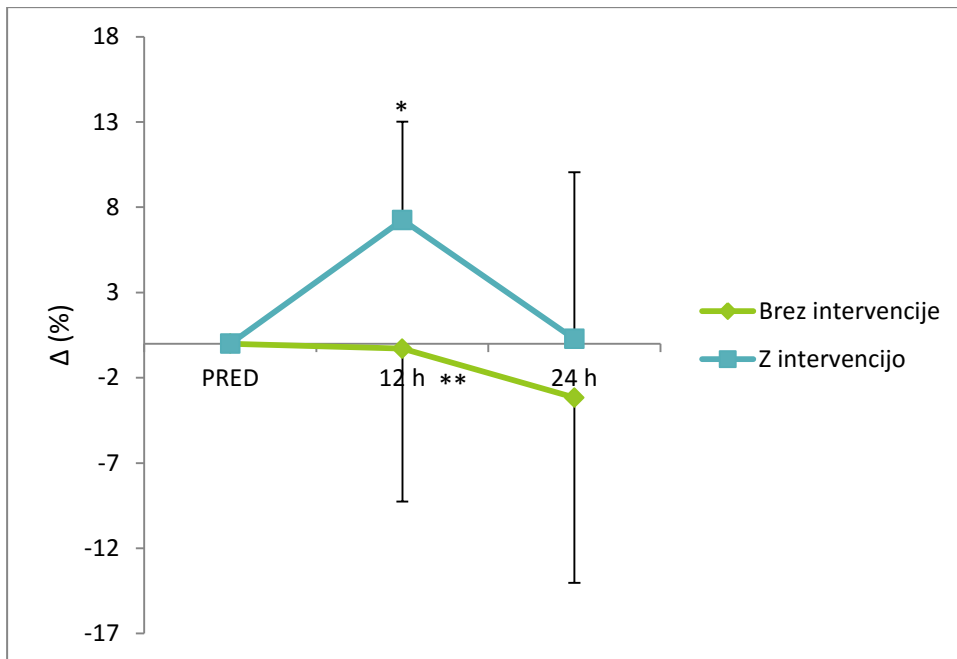
3.3 Povprečen pospešek (m/s²) med skokom z nasprotnim gibanjem

Povprečen pospešek skoka z nasprotnim gibanjem se je 1 minuto po intervenciji razlikoval od povprečne vrednosti pri eksperimentu brez intervencije ($F_{1,10} = 18,57$; $p = 0,002$). Povprečen pospešek skoka z nasprotnim gibanjem je 1 minuto po izvedeni intervenciji znašal $4,24 \pm 0,50 \text{ m/s}^2$ in je bil večji kot pred intervencijo ($p < 0,05$), ko je bila vrednost $4,00 \pm 0,56 \text{ m/s}^2$. Prav tako se je 1 minuto po intervenciji vrednost pospeška značilno razlikovala od vrednosti pospeška izvedbe skokov eksperimenta brez intervencije ($3,71 \pm 0,66 \text{ m/s}^2$; $p < 0,001$). Vrednost pospeška pa se ni značilno razlikovala pred eksperimentom brez ($3,94 \pm 0,63 \text{ m/s}^2$) in z intervencijo ($4,00 \pm 0,56 \text{ m/s}^2$; $p > 0,05$).



Slika 11: Sprememba povprečnega pospeška skoka (Δ (%)) – izračunana glede na povprečen pospešek skoka pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in PO intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; *** – $P < 0,001$; * – $P < 0,05$

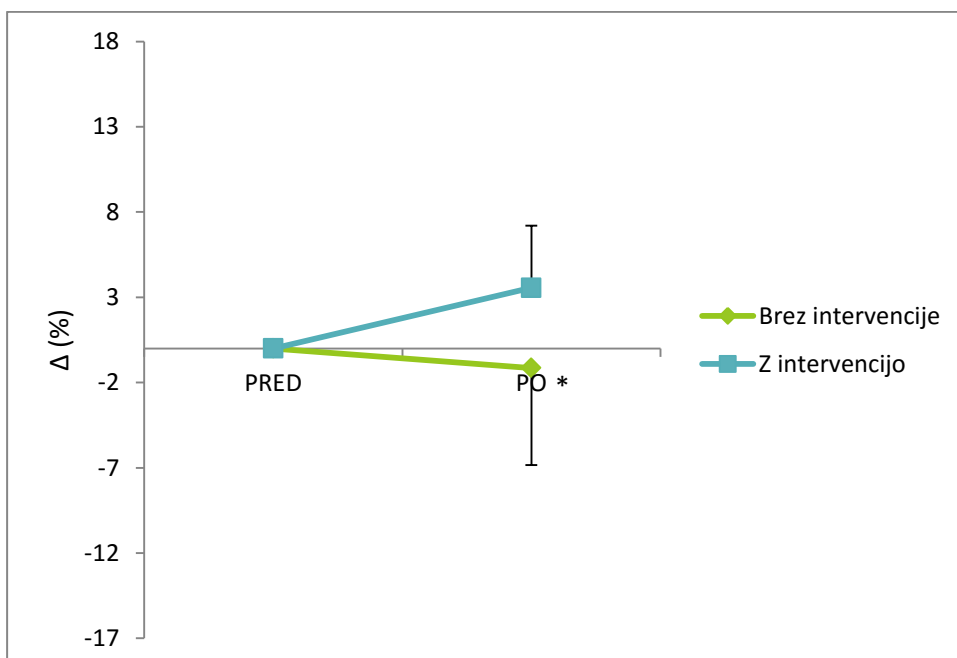
Značilna interakcija faktorja intervencije x pospeška ($F_{2,20} = 4,14$; $p = 0,03$) je pokazala, da so med eksperimentoma razlike v poprečnem pospešku skoka dvanajst ur po uvodnih meritvah. Pri eksperimentu, kjer smo izvajali intervencijo je bil pospešek $4,27 \pm 0,52 \text{ m/s}^2$ in je bil višji kot pred intervencijo ($p < 0,05$), ko je bil $4,00 \pm 0,56 \text{ m/s}^2$. Štiriindvajset ur po uvodnih meritvah se velikost pospeška ni razlikovala od velikosti pospeška uvodnih meritev eksperimenta z intervencijo. Dvanajst ur po uvodnih meritvah pa je bil pospešek višji takrat, ko smo izvedli intervencijo ($4,27 \pm 0,50 \text{ m/s}^2$) kot takrat, ko intervencije ni bilo ($3,90 \pm 0,57 \text{ m/s}^2$; $p < 0,01$).



Slika 12: Sprememba povprečnega pospeška skokov (Δ (%)) – izračunana glede na povprečen pospešek skoka pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in 12 h ter 24 h po intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; ** – $P < 0,01$; * – $P < 0,05$

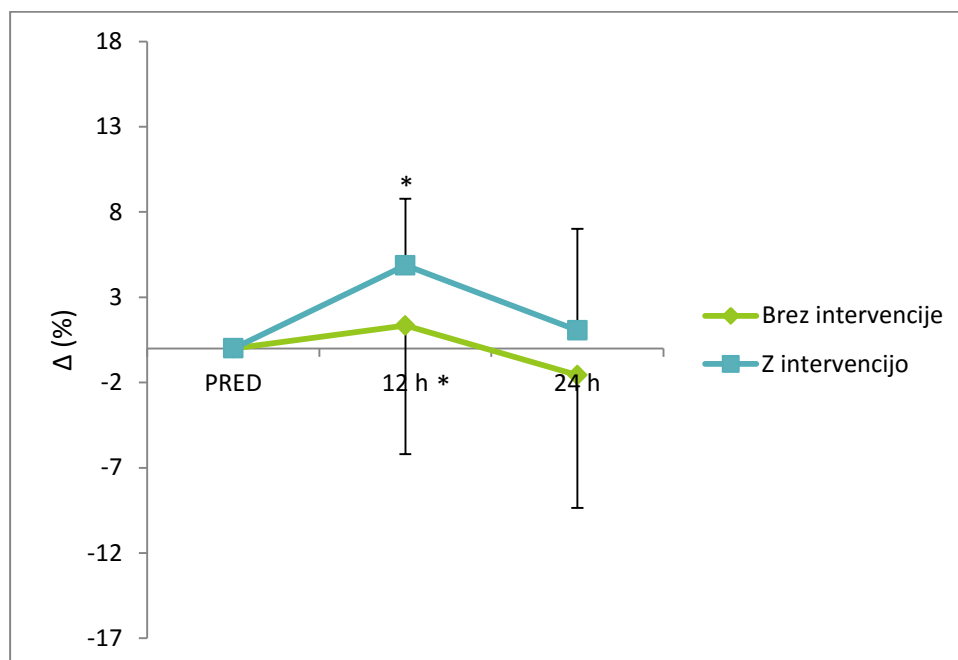
3.4 Povprečna moč (W) skoka z nasprotnim gibanjem

Povprečna moč skoka z nasprotnim gibanjem se je 1 minuto po intervenciji razlikovala od povprečne vrednosti pri eksperimentu brez intervencije ($F_{1,10} = 5,88$; $p < 0,05$). Povprečna moč skoka z nasprotnim gibanjem je 1 minuto po izvedeni intervenciji znašala 2415 ± 582 W in ni bila večja kot pred intervencijo (2332 ± 553 W, $p > 0,05$; Slika 13).



Slika 13: Sprememba povprečne moči skoka (Δ (%)) – izračunana glede na povprečno moč skoka pred (PRED) intervencijo 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; * – $P < 0,05$

Značilna interakcija faktorja intervencije x moči ($F_{2,20} = 8,4$; $p = 0,02$) je pokazala, da so med eksperimentoma razlike v poprečni moči skoka dvanajst ur po uvodnih meritvah. Pri eksperimentu, kjer smo izvajali intervencijo je moč znašala 2448 ± 607 W in je bila večja kot pred intervencijo (2331 ± 553 W; $p < 0,05$). Štiriindvajset ur po uvodnih meritvah se velikost moči ni razlikovala od velikosti moči uvodnih meritev eksperimenta z intervencijo. Dvanajst ur po uvodnih meritvah pa je bila moč večja takrat, ko smo izvedli intervencijo (2448 ± 607 W) kot takrat, ko intervencije ni bilo (2334 ± 600 W; $p < 0,05$; Slika 14).



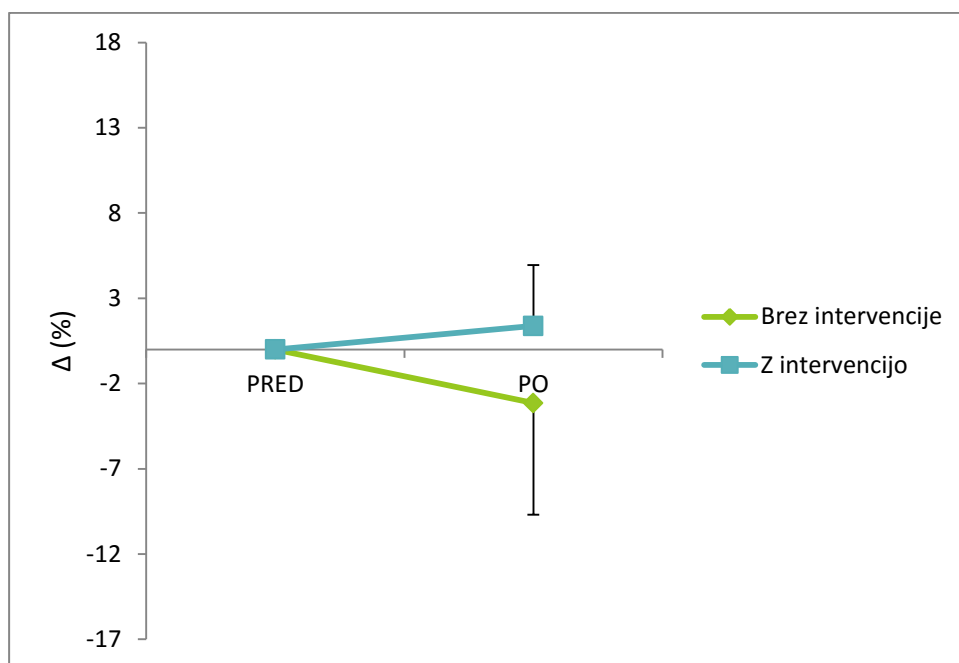
Slika 14: Sprememba povprečne moči skokov (Δ (%)) – izračunana glede na povprečno moč skoka pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in 12 h ter 24 h po intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; * – $P < 0,05$

3.5 Največja relativna moč (% telesne teže) med skokom z nasprotnim gibanjem

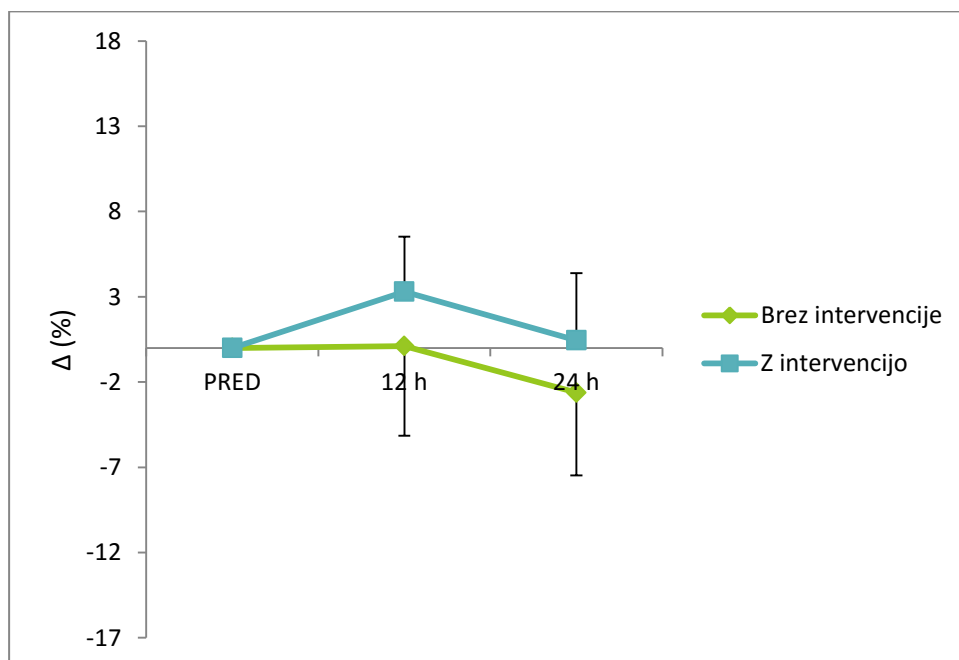
Največja relativna moč (% telesne teže) med skokom z nasprotnim gibanjem, takoj po uvodnih meritvah ni bila različna med eksperimentoma, saj nismo izračunali različnih faktorjev intervencije ($F_{1,10} = 0,64$), časa ($F_{1,10} = 0,50$) ali njune interakcije ($F_{1,10} = 3,74$; $p = 0,08$; Slika 15).

Prav tako ni bilo razlik dvanajst in štiriindvajset ur po uvodnih meritvah med obema eksperimentoma ($F_{2,20} = 1,97$). Največja relativna moč (% telesne teže) med skokom je dvanajst ur in štiriindvajsete ur po uvodnih meritvah znašala $53,0 \pm 6,8$ W/kg in $51,6 \pm 7,7$

W/kg pri eksperimentu intervencije in $51,7 \pm 7,7$ W/kg ter $50,3 \pm 7,2$ W/kg pri eksperimentu brez nje (Slika 16).



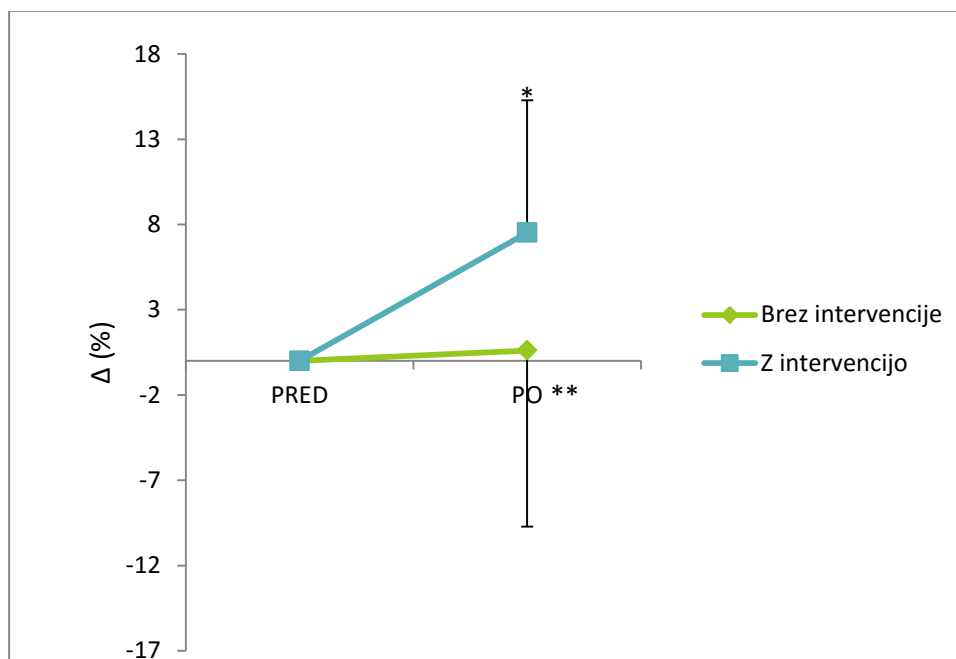
Slika 15: Sprememba največje relativne moči (% telesne teže) med skokom (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno moč (% telesne teže) med skokom pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).



Slika 16: Sprememba največje relativne moči (% telesne teže) med skokom (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno moč (% telesne teže) med skokom pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).

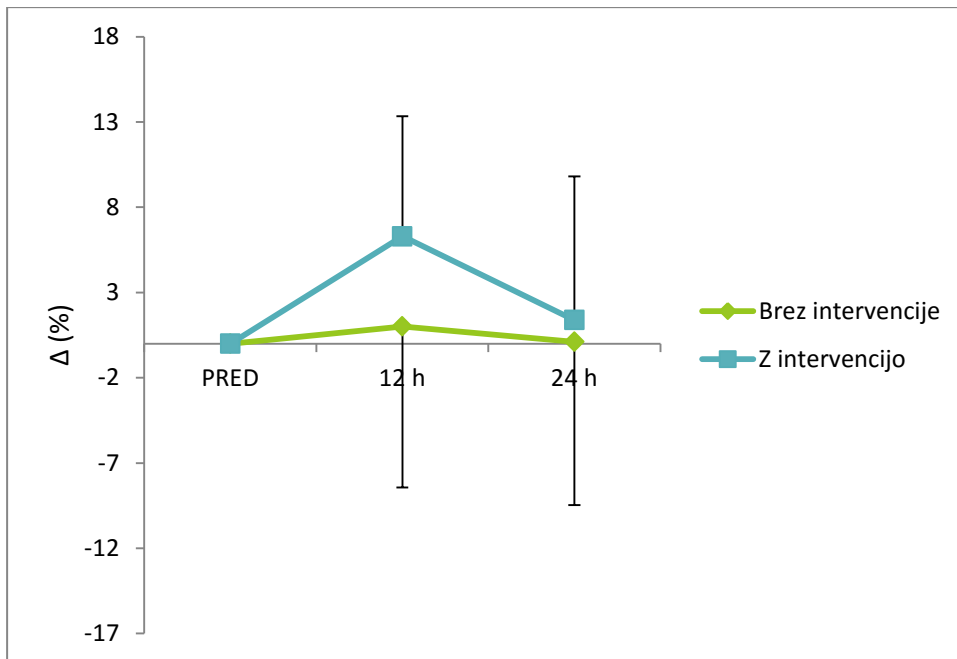
3.6 Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem – največja relativna sila zaviranja

Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem se je 1 minuto po intervenciji razlikovala od vrednosti največje relativne sile (%telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem pri eksperimentu brez intervencije ($F_{1,10} = 6,72$; $p < 0,01$). Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem je 1 minuto po izvedeni intervenciji znašala $282,6 \pm 30,3$ N/kg in je bila večja kot pred intervencijo ($p < 0,05$; Slika 17), ko je znašala $263,4 \pm 27,5$ N/kg. Prav tako je bila 1 minuto po intervenciji največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem večja od vrednosti največje relativne sile (% telesne teže) ekscentričnega dela skokov pri eksperimentu brez intervencije ($259,2 \pm 29,6$; $p < 0,01$; Slika 17). Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela skokov z nasprotnim gibanjem se pri uvodnih meritvah eksperimenta brez intervencije ($260,5 \pm 44,4$ N/kg) in z intervencijo ($263,4 \pm 27,5$ N/kg; $p > 0,05$) ni značilno razlikovala.



Slika 17: Sprememba največje relativne sile (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno silo (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in PO intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; ** – $P < 0,01$; * – $P < 0,05$

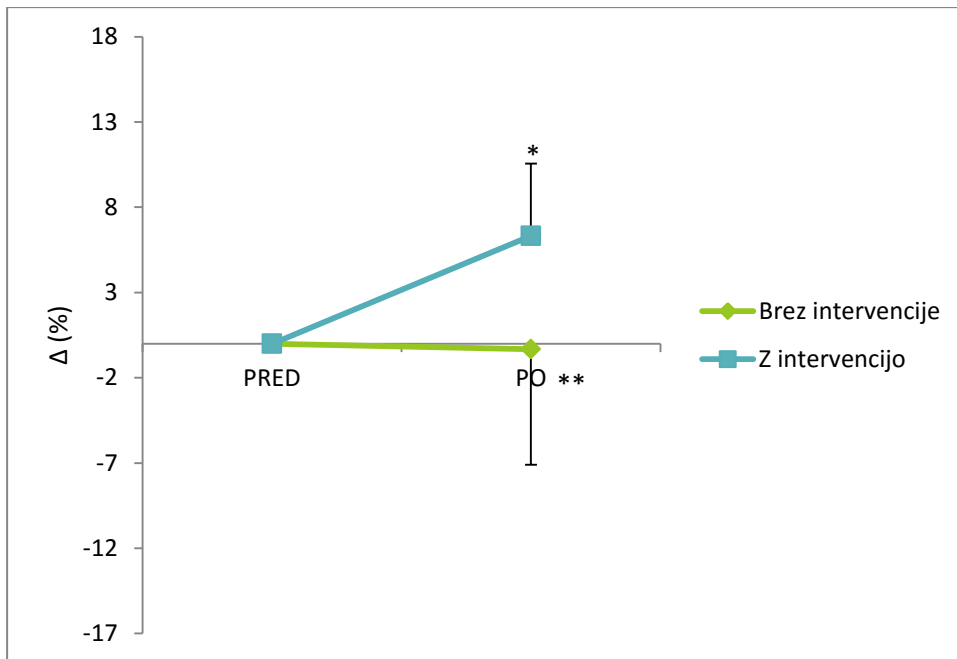
Največja relativna sila (% telesne teže) ekscentričnega dela izvedbe skokov z nasprotnim gibanjem se dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji ni značilno razlikovala od povprečne hitrosti izvedbe skokov eksperimenta brez intervencije (Slika 18), saj faktorji intervencije ($F_{2,20} = 2,74$), časa ($F_{2,20} = 1,61$) in interakcije x časa ($F_{2,20} = 1,9$; $p = 0,18$) niso bili značilni.



Slika 18: Sprememba največje relativne sile (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno silo (% telesne teže) ekscentričnega dela skoka pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).

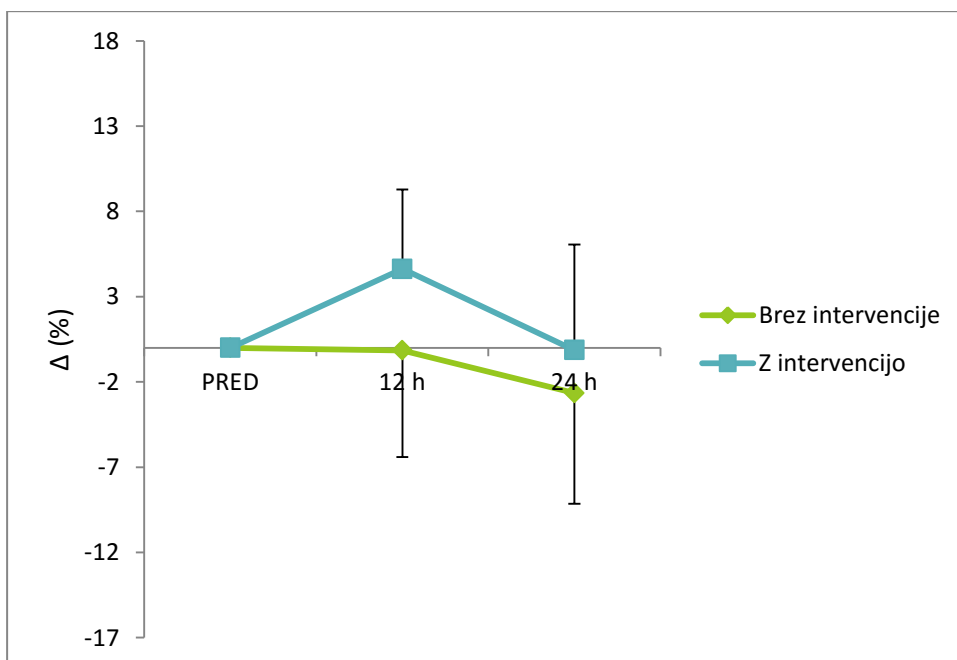
3.7 Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem

Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem se je 1 minuto po intervenciji razlikovala od največje relativne sile (% telesne teže) koncentričnega dela pri eksperimentu brez intervencije ($F_{1,10} = 8,46$; $p = 0,02$). Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem je 1 minuto po izvedeni intervenciji znašala $287,6 \pm 28,5$ N/kg in je bila večja kot pred intervencijo ($p < 0,05$), ko je bila vrednost $270,5 \pm 28,5$ N/kg. Prav tako se je 1 minuto po intervenciji največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela značilno razlikovala od največje relativne sile (% telesne teže) koncentričnega dela izvedbe skokov eksperimenta brez intervencije ($266,2 \pm 31,4$ N/kg; $p < 0,01$). Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela pa se ni značilno razlikovala pred eksperimentom brez ($268,5 \pm 40,9$ N/kg) in z intervencijo ($270,5 \pm 28,5$ N/kg; $p > 0,05$).



Slika 19: Sprememba največje relativne sile (% telesne teže) koncentričnega dela skoka (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno silo (% telesne teže) koncentričnega dela skoka pred (PRED) intervencijo) 1 minuto po (PO) intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže). * nad standardno deviacijo prikazuje statistično značilne razlike med PRED in PO intervenciji; * pod x-osjo prikazuje statistične razlike med skupinama v isti časovni točki; ** – $P < 0,01$; * – $P < 0,05$

Največja relativna sila (% telesne teže) koncentričnega dela izvedbe skokov z nasprotnim gibanjem se dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji ni značilno razlikovala od največje relativne sile (% telesne teže) koncentričnega dela izvedbe skokov eksperimenta brez intervencije (Slika 20), saj faktorji intervencije ($F_{2,20} = 3,48$), časa ($F_{2,20} = 3,10$) in interakcije x časa ($F_{2,20} = 2,77$; $p = 0,09$) niso bili značilni.



Slika 20: Sprememba največje relativne sile (% telesne teže) koncentričnega dela skoka (Δ (%)) – izračunana glede na največjo relativno silo (% telesne teže) koncentričnega dela skoka pred (PRED) intervencijo) dvanajst ur (12 h) in štiriindvajset ur (24 h) po intervenciji (6 vezanih poskokov, 3 serije, 2 min 30 s med serijami, 30% telesne teže).

4 RAZPRAVA

Namen naše raziskave je bil preveriti vpliv treninga potenciacije (3 serije po 6 vezanih ekscentrično-koncentričnih skokov z dodatnim bremenom (30% telesne teže), odmor 2 min 30 s) na izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem (CMJ) takoj po intervenciji, torej kratkoročen vpliv ter dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji, torej dolgoročen učinek potenciranja (intervencije). Glavni kazalci uspešnosti izvedbe CMJ skoka, ki smo jih izmerili in izračunali, so bili poleg višine tudi čas odriva, povprečen pospešek in sila odriva. Izračunali pa smo tudi impulz sile odriva, največjo relativno moč ter relativno silo koncentričnega in ekscentričnega dela odriva skoka.

Rezultati raziskave niso pokazali statistično značilnega izboljšanja višine skoka 1 minuto po izvedeni intervenciji potenciacije, medtem ko se je dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji višina skoka značilno zvišala ($p < 0,001$). Naša raziskava torej nakazuje na obstoj dolgotrajnega vpliva našega potenciranja ali intervencije. S tem smo uresničili glavni cilj te diplomske naloge, ki je bil dokazati izboljšanje izvedbe skoka z nasprotnim gibanjem zaradi predhodno izvedenega ekscentrično-koncentričnega naprežanja z dodatnim bremenom.

4.1 Kratkoročen učinek živčno-mišične potenciacije

Višina CMJ se v naši raziskavi takoj po izvedeni intervenciji (potenciaranju) v primerjavi s skoki brez predhodne intervencije ni statistično značilno povečala, kar lahko pomeni, da v kratkem času ekscentrično-koncentrični skoki z dodatnim bremenom niso izboljšali delovanja živčno-mišičnega sistema ali niso povzročili kratkotrajnega izboljšanja živčno-mišičnega delovanja. Prevelika ekscentrična sila se še posebno pri netrenirani osebi lahko izrazi tudi kot inhibicija. Prvo hipotezo (H1), s katero smo napovedali takojšnje povečanje višine skoka po izvedeni intervenciji, torej ovržemo. Prav tako ni bilo značilne spremembe v času odriva ter v največji relativni moči, zato ovržemo tudi tretjo hipotezo (H3) in deloma tudi deveto (H9).

Kljub temu pa je prišlo do izboljšanja izbranih parametrov skoka, in sicer značilno sta bila večja povprečen pospešek ($p < 0,001$, $\sim 5,7\%$) ter največja relativna sila ekscentričnega in koncentričnega dela ($p < 0,01$). Malo manjša sprememba, vendar vseeno statistično značilna, je bila izračunana za povprečno moč, ki se je tudi izboljšala ($p < 0,05$). Glede na to lahko potrdimo peto hipotezo (H5) in deloma tudi deveto (H9).

Rezultati lahko nakazujejo, da so bili merjenci sposobni po potenciranju hitreje spuščati težišče navzdol (ekscentričen del skoka). Hitrejše spuščanje težišča navzdol lahko povzroči hitrejši razteg mišice, kar bi posledično povzročilo večjo količino shranjene elastične energije (Bosco, Tihanyi, Komi, Fekete, in Apor, 1982) v mišično-kitnem kompleksu. To sicer ni nujno, saj je pri shranjevanju količine elastične energije ključno tudi upiranje mišice med zaviranjem, kar povzroča silo in s tem razteza tetive. Večja količina shranjene elastične energije v mišično-kitnem kompleksu pa sicer omogoči, da lahko skakalec razvije višjo hitrost in silo v koncentričnem delu skoka. Tudi v naši raziskavi se je to pokazalo, saj se je poleg povečanja največje relativne sile v ekscentričnem delu, povečala tudi največja relativna sila koncentričnega dela. To nakazuje, da so bili merjenci najbrž učinkovitejši v hranjenju in deloma izkoriščanju elastičnega energije mišično-kitnega kompleksa zaradi potenciranja. Zanimivo pa je, da se višina skoka takoj po intervenciji ni povečala, kljub značilno večji največji relativni sili ekscentričnega (Slika 17) in koncentričnega dela (Slika 19) ter kljub večjemu povprečnemu pospešku skoka (Slika 11). Tudi raziskava Cavagna, Dusmana in Margaria (1968) je pokazala, da ni nujno, da pri skokih, kjer merjenci razvijejo večjo silo

ekscentričnega naprežanja, višina skoka višja. Poleg sile v ekscentričnem delu, je pomembna tudi točka, kjer pride do prehoda iz ekscentričnega v koncentričen del skoka. Zaželeno je, da je ekscentrična sila najvišja v trenutku, ko je težišče telesa v najnižji točki, saj bo takrat izkoristek elastične energije lahko največji. Manjša največja relativna sila ekscentričnega dela skoka v primerjavi z največjo relativno silo koncentričnega skoka pri naših merjenjih nakazuje, da je bil večji del pospeševanja narejen v koncentričnem delu in da prehod vseeno ni bil optimalen. To pa je lahko posledica neučinkovitega izkoristka mehanizmov ekscentrično-koncentričnega naprežanja.

Najverjetneje je predhodna intervencija z ekscentrično-koncentričnim naprežanjem povzročila izboljšanje izbranih parametrov skoka zaradi mehanizmov kratkoročne potenciacije, ki pa se niso odrazili v povečanju višine ali največje vertikalne višine skoka. Povečana občutljivost aktinskih in miozinskih filamentov na Ca^{2+} , večja vzdraženost sklada alfa motoričnih nevronov in povečana rekrutacija hitrih motoričnih enot ter njihova sinhronizacija, predstavljajo glavne mehanizme kratkoročnega učinka živčno-mišične potenciacije in se bolj kot v maksimalni proizvedeni sili izrazijo v hitrejšem prirastku sile (Muora idr., 2015). To se prikaže tudi v naši raziskavi, kjer se kot kratkoročen učinek potenciacije izrazi sprememba v povprečnem pospešku, ne pa tudi v največji višini skoka.

Neizražen učinek potenciacije v naši raziskavi ima lahko več vzrokov. Eden izmed dejavnikov je stopnja treniranosti merjencev. V naši raziskavi so sodelovali rekreativci, ki nimajo visoke stopnje treniranosti. Kot že prej omenjeno, je treniranost lahko močan dejavnik, ki vpliva na to, ali se bo pokazal učinek potenciacije ali se ne bo. Namreč pri netreniranih lahko takoj po intervenciji pride do prevlade utrujenosti nad potenciacijo. V našem primeru je to lahko eden izmed vzrokov za to, da se višina CMJ skoka po izvedeni intervenciji ni značilno povečala. Naslednji dejavnik je časovni interval med intervencijo in izvedbo skoka. 1 minuta, kolikor je trajal naš časovni interval, je mogoče prekratek, da bi pri skupini netreniranih posameznikov omogočil izraz učinka potenciacije, najverjetneje so prevladovali mehanizmi utrujenosti (Jensen in Ebben (2003) sta v intervenciji uporabila 5 maksimalnih počepov (5RM) in preverjala razlike med časovnimi intervali (10 sekund ter 1, 2, 3, in 4 minute) med intervencijo in CMJ skokom. Ugotovila sta, da se višine skokov pri nobenem časovnem intervalu niso statistično značilno povečale. Domnevata, da je tudi 4-minuten odmor med intervencijo in skokom premajhen časovni interval za to, da se učinek potenciacije izrazi.) Tretji dejavnik bi lahko bil vrsta intervencije. Ekscentrično-koncentrično naprežanje je bilo namreč ugotovljeno za manj učinkovito od izometričnega, ki naj bi imel na kratkotrajno živčno-mišično potenciacijo največji vpliv (Sale, 2002). Na izraz potenciacije takoj po intervenciji pa bi lahko kot četrti dejavnik vplivala tudi intenzivnost vaj v intervenciji. Ker je bil naš glavni namen dokazati dolgotrajen vpliv potenciacije, smo intenzivnost pliometričnih vaj nekoliko povečali. Namesto ene serije šestih poskokov z utežmi smo uporabili kar tri serije šestih poskokov. Intervencija je trajala skupaj 5 minut in 30 sekund. Intenzivnost naše intervencije je bila večja od intervencij v prej omenjenih raziskavah, ki so potrdile vpliv kratkoročne potenciacije. Prvotni namen tega diplomskega dela sicer ni ugotavljati možnost obstoja kratkoročne živčno-mišične potenciacije, saj je ta tema že dobro raziskana, temveč je bil naš glavni namen potrditi hipotezo o obstoju dolgoročnega vpliva živčno-mišične potenciacije.

4.2 Dolgotrajna živčno-mišična potenciacija

Skoki z nasprotnim gibanjem, ki so bili izvedeni dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji, so bili značilno višji kot pred intervencijo ($p < 0,001$; Slika 8), po štiriindvajsetih urah je bila tudi značilna razlika med eksperimentalno in kontrolno skupino. Drugo hipotezo (H2) torej lahko potrdimo. Podatki nakazujejo na to, da obstajajo dolgotrajni učinki živčno-mišične potenciacije.

Izračunali smo značilno povečanje povprečnega pospeška ($p < 0,01$; Slika 12) in povprečne moči ($p < 0,05$; Slika 14) po dvanajstih urah, zato lahko potrdimo šesto hipotezo (H6). Čas odziva, največja relativna moč ter največja relativna sila ekscentričnega in koncentričnega dela skoka z nasprotnim gibanjem pa so parametri, ki niso pokazali statistično značilnih razlik med kontrolno in eksperimentalno skupino po dvanajstih in štiriindvajsetih urah od intervencije. S tem ovržemo četrto (H4) in deseto hipotezo (H10). Glede na to, da se izmerjeni parametri skoka takoj po potenciranju ter 12 in 24 ur po intervenciji med sabo očitno razlikujejo, potrdimo enajsto hipotezo (H11), hkrati pa lahko potrdimo tudi zadnjo hipotezo (H12), ki pravi, da se bodo parametri skoka po intervenciji razlikovali od parametrov skoka brez intervencije v vseh časovnih točkah.

Dvanajst ur po intervenciji se je povprečna višina skoka zvišala za 1,6 cm, po štiriindvajsetih urah pa za 2 cm. Kot že prej omenjeno, Cook idr. (2014) izpostavljajo možnost hormonskih sprememb kot mehanizem za tovrstno izboljšanje živčno-mišičnega delovanja. Testosteron in kortizol, ki se izločata različno glede na del dneva (zjutraj so vrednosti teh dveh hormonov nižje kot popoldne), z jutranjim treningom moči lahko spodbudimo, tako da so vrednosti teh dveh hormonov čez dan višje, kot bi bile brez jutranjega treninga. Posledično bi lahko prišlo do izboljšanja delovanja po 12 urah. Štiriindvajset ur po intervenciji pa verjetno hormoni ne vplivajo več bistveno na izboljšanje. V našem primeru, ko se je višina tudi zvišala, pa bi lahko izboljšanje povezali tudi s tehniko izvedbe skoka. Možno je, da so naši merjenci, glede na to, da niso visoko trenirani, skoke iz meritve v meritev izboljševali zaradi spreminjanja tehnike, ki bi bila posledica učenja zaradi netreniranosti. Kljub temu, da smo merjence naključno razvrstili med eksperimentalno in kontrolno skupino, je bila meritev po štiriindvajsetih urah že tretja, kar pomeni, da so imeli do te meritve že za seboj 9 skokov. Verjetno pa gre tudi za kombinacijo z nevrnalno spremembo, kot je to ugotovil Peterson (2009) v svoji raziskavi, torej povečanje vzdraženost korteksa in posledično alfa-motonevronov zaradi zmanjšane intra-kortikalne inhibicije.

Dolgotrajna živčno-mišična potenciacija je torej lahko sredstvo za izboljšanje živčno-mišičnega delovanja in zato je intervencijo kot je ekscentrično-koncentrično naprežanje smiselno uporabiti nekaj ur pred tekmo ali celo dan pred tekmo.

5 SKLEP

Tema diplomskega dela je bilo dolgotrajno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega kompleksa po predhodni mišični aktivnosti. Želeli smo dokazati obstoj dolgotrajnega vpliva (dvanajst in štiriindvajset ur po intervenciji) treninga potenciacije. Intervencija je predstavljala ekscentrično-koncentrične vezane poskoke z dodatnim bremenom (30% telesne teže), testna mišična aktivnost pa je bil skok z nasprotnim gibanjem.

Pri meritvah je sodelovalo enajst rekreativnih športnikov. Skoke z nasprotnim gibanjem so izvajali na tenziometrijski plošči, preko katere smo pridobili podatke o izvedenih skokih.

Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da ni prišlo do razlik v skokih pred intervencijo ter takoj po intervenciji, zato smo ovrgli hipotezo, ki je predvidevala izraženo kratkotrajno potenciacijo. Potrdili pa smo lahko hipotezi, ki sta predvidevali višje skoke po dvanajstih in štiriindvajsetih urah v primerjavi z višino skoka pred intervencijo. Tudi zadnjo postavljeno hipotezo smo lahko potrdili, saj so se višine skokov po dvanajstih in štiriindvajsetih urah razlikovale. Iz tega lahko sklepamo, da je tovrsten pliometričen trening en dan pred tekmo lahko učinkovita metoda za izboljšanje mišične akcije.

Kot glavno omejitev te raziskave bi lahko izpostavili dejstvo, da merjencev nismo natančneje klasificirali glede na stopnjo treniranosti. Z delitvijo skupine merjencev na trenirane in netrenirane, bi lahko tudi primerjali vpliv treniranosti na učinek potenciacije. Čeprav naš glavni namen ni bil preverjanje kratkotrajne potenciacije, bi lahko med intervencijo in izvedbo CMJ skokov določili daljši časovni interval od 1 minute, da bi imeli več možnosti za izraz kratkotrajnega učinka potenciacije. Naš predlog za bodoča raziskovanja na področju živčno-mišične potenciacije pa bi bil preverjanje mehanizmov delovanja dolgotrajne živčno-mišične potenciacije.

6 VIRI

Action potential (2015). Wikipedia. The Free Encyclopedia. Pridobljeno iz https://en.wikipedia.org/wiki/Action_potential

Aragon-Vargas, L. E., in Gross, M. M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journal of applied Biomechanics*, 13, 24-44.

Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Veligekas, P., Tsolakis, C., in Terzis, G. (2014). Effects of muscle action type with equal impulse of conditioning activity on postactivation potentiation. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 28(9), 2521-2528.

Bosco C., Tihanyi, J., Komi, P. V., Fekete, G in Apor, P. (1982). Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica* 116 (4), 343-49.

Brezavšček, R. (2010). Razlike pri aktivaciji mišic pri skokih z nasprotnim gibanjem, izvedenih na različne načine (Diplomsko delo). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana.

Cavagna, G. A., Dusman, B. in Margaria, R. (1968). Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology* 24 (1), 21-32.

Comyns, T. M., Harrison, A. J., in Hennessy, L. K. (2010). Effect of squatting on sprinting performance and repeated exposure to complex training in male rugby players. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 24(3), 610-618.

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.

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 177-186.

Dal Pupo, J., Detanico, D., in dos Santos, S. G. (2011). Kinetic parameters determinants of performance in counter movement jump. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 14 (1). Pridobljeno iz <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/14751>

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.

Dowling, J. J., in Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 95-95.

Emeršič, T. (2012). Viskoelastični model izometrične kontrakcije gladkih mišic (Diplomski seminar). Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor.

Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement* (3rd edition). Champaign: Human Kinetics.

Gerrughty, L. L. (2009). Assessing explosive power production using the backwards overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance (Doktorska disertacija, the University of North Carolina, Chapel Hill). Pridobljeno iz <http://gradworks.umi.com/14/67/1467266.html>

Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N., in Rosenstein, R.M. (1990). The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(6), 825-833.

Hodgson, M., Docherty, D., in Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.

Jensen, R. L., Ebben, W. P. (2003). Kinetic analysis of complex training rest interval effect on vertical jump performance. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 17(2), 345-349.

Kilduff, L. P., Finn, C. V., Baker, J. S., Cook, C. J., West, D. J., de Koning, J. J., ... in Jenkins, D. G. (2013). Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *IJSP*, 8(6).

Misiaszek, J. E. (2003). The H-reflex as a tool in neurophysiology: its limitations and uses in understanding nervous system function. *Muscle and Nerve*, 28 (2), 144-160.

Muora, B. M. A., Porto, A. B., de Oliveira, L. G. R. in Okazaki, V. H. A. (2015). Vertical jump height prediction through the analysis of ground reaction forces. Neobjavljeno delo. Sports and Physical Education Centre, Londrina State University, Londrina, Paraná, Brazil.

Peterson, C. R. (2009). Acute neural adaptations to resistance training performed with low and high rates of muscle activation. The University of Iowa.

Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bemben, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 500-505.

Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(3), 138-143.

Santos, E. J., in Janeira, M. A. (2008). Effects of complex training on explosive strength in adolescent male basketball players. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 22(3), 903-909.

Strojnik, V. (2013). Živčno-mišične mehanske osnove gibanja (zapiski predavanj). Neobjavljeno delo. Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.

Till, K. A., in Cooke, C. (2009). The effects of postactivation potentiation on sprint and jump performance of male academy soccer players. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 23(7), 1960-1967.

Tillin, M. 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.

Tsolakis, C., Bogdanis, G. C., Nikolaou, A., in Zacharogiannis, E. (2011). Influence of type of muscle contraction and gender on postactivation potentiation of upper and

lower limb explosive performance in elite fencers. *Journal of sports science in medicine*, 10(3), 577.

Turki, O., Chaouachi, A., Drinkwater, E. J., Chtara, M., Chamari, K., Amri, M., in Behm, D. G. (2011). Ten minutes of dynamic stretching is sufficient to potentiate vertical jump performance characteristics. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 25(9), 2453-2463.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.

Woolstenhulme, M. T., Bailey, B. K., in Allsen, P. E. (2004). Vertical jump, anaerobic power, and shooting accuracy are not altered 6 hours after strength training in collegiate women basketball players. *The Journal of Strength in Conditioning Research*, 18(3), 422-425.