



**Katja Čop,
Katja Tomažin**

Učinek nalog, ki kratkotrajno izboljšajo delovanje živčno mišičnega sistema na ravnotežje

Izvleček

Namen raziskave je bil primerjati učinke treh ogrevanj na kakovost izvedbe tandemske stoje z zaprtimi očmi. Sedemnajst prostovoljcev je izvedlo tandemske stoji pred ogrevanjem in po ogrevanju v treh časovnih točkah (0,5 min, 6 min in 12 min). Med tandemske stoji smo s pritiskovno ploščo merili hitrost in amplitudo nihanja oprijemališča sile reakcije podlage. Ogrevanja so bila izvedena po naključnem vrstnem redu: (i) nizko intenzivno stopanje na klopco (20 cm, 6 min, 60–65 % največje frekvence srčnega utripa), (ii) nizko-intenzivno stopanje z dodanimi poskoki (6 ponovitev × 3 serije, 2,5 min odmor med serijami), (iii) nizko intenzivno stopanje z dodanimi izometričnimi iztegi nog na sankah (3 ponovitve, 5 do 8 s, odmor med ponovitvami 2,5 min). Rezultati so pokazali, da ogrevanje z dodanimi poskoki izboljša kakovost tandemske stoje 12 minut po ogrevanju, medtem ko dodana izometrična naprežanja povzročijo poslabšanje ravnotežja. Poskoke kot potenciacijsko aktivnost je smiselno vključiti pred vadbo ravnotežja, še posebej takrat, ko za ogrevanje izvajamo nizko-intenzivne ciklične obremenitve.

Ključne besede: ravnotežje, tandemska stoja, post-aktivacijska potenciacija.



Influence of post-activation potentiation on balance

Abstract

The aim was to compare the effects of three warm up protocols on postural control. Seventeen volunteers performed tandem stance with eyes closed (EC) pre- and post-warm up (0.5 min, 6 min and 12 min). Pre- and post-warm up, the displacement velocities and amplitudes of the center of pressure during tandem stance were assessed. Three different warm up protocols in randomized order were performed: (i) six minutes of low-intensity (20 cm, 60 to 65 % of maximal heart rate) stepping, (ii) six minutes of low-intensity stepping with additional plyometric conditioning activity, i.e., jumps (6 repetitions in 3 sets, 2.5 min inter-set rest) and (iii) six minutes of low-intensity stepping with additional maximal isometric conditioning activity (maximal leg extension, 3 repetitions in 5 to 8 s, 2.5 min inter-set rest). In comparison with pre-warm up, only low-intensity stepping with added plyometric conditioning activity improves the quality of performing the tandem stance with EC, probably due to increased sensitivity of muscle spindle. But 12 minutes of recovery are required to obtain postural control enhancement. On the other hand, low-intensity stepping with isometric conditioning activity diminished postural control. In conclusion, plyometric conditioning activity should precede balance exercise, particularly, when warm-up procedure consists of low-intensity whole body exercise.

Key words: balance, tandem stance, post-activation potentiation.

■ Uvod

Vadba ravnotežja ima pomembno vlogo za razvoj ravnotežja v vseh življenjskih obdobjih posameznika (Brachman idr., 2017). V starosti z njo znižamo tveganje za padce in z njimi povezane poškodbe mišično skeletnega sistema (Kiss, Schendler in Muehlbauer, 2018). Pri mlajših starostnih kategorijah pa to vadbo pogosto uporabljamo tudi za preprečevanje zvinov gležnja ter preobremenitev mišic, kit ter ligamentov (Eils, Schröter, Schröder in Gerst, 2010; Emery in Meeuwisse, 2010). Uporablja se tudi za povečanje učinkovitosti drugih gibalnih nalog, npr. skokov in šprintov (Asadi, Saez de Villarreal in Arazi, 2015). Pomemben vidik kineziološke znanosti je tudi postavljanje novih bolj učinkovitih vadbenih protokolov za razvoj ravnotežja. Del vsakega vadbenega protokola je tudi ogrevanje. Kljub temu da so učinki številnih protokolov ogrevanja na mišični in živčni sistem že raziskani (McGowan, Pyne, Thompson in Rattray, 2015), pa njihovi učinki na nadzor in upravljanje drže in ravnotežja še vedno niso dovolj poznani.

Ogrevanje najpogosteje vključuje izvajanje nizkointenzivne aktivnosti (60–70 % največjega privzema kisika), ki ji sledijo dinamične raztezne vaje v kombinaciji s kratkimi, visoko in/ali najbolj intenzivnimi mišičnimi naprežanji (McGowan idr., 2015). Različna kratkotrajna (do ~5s) najbolj intenzivna mišična naprežanja povzročijo akutno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega sistema ali post-aktivacijsko mišično potenciacijo (PAP) (Seitz in Haff, 2015). Post-aktivacijska potenciacija (PAP) je fenomen, pri katerem pride do izboljšanja mehanske učinkovitosti mišice zaradi njene predhodne aktivacije (Robbins, 2005; Hodgson, Docherty in Robbins, 2005). Večja mehanska učinkovitost se pokaže v višjem prirastku sile in višji največji sili (Lorenz, 2011) zaradi izboljšanja (i) živčnih mehanizmov, med katere uvrščamo izboljšanje prenosa akcijskega potenciala preko motorične ploščice, višjo frekvenco in amplitudo akcijskih potencialov ter višjo občutljivost mišičnega vretena in (ii) mišičnih mehanizmov, med katere pa uvrščamo večje število in moč vezi prečnih mostičkov. Kratkotrajno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega sistema, tj. post-aktivacijska potenciacija, se pojavlja po največjem, izometričnem, koncentričnem in ekscentrično-koncentričnem mišičnem naprežanju. Metaanaliza, ki je preverjala potenciacijske učinke različnih vrst mišičnih naprežanj na izvedbo šprintov, skokov in metov, kaže, da se balistične gibalne

naloge najbolj izboljšajo po predhodno izvedenem ekscentrično-koncentričnem naprežanju (moč učinka = 0,47), medtem ko je učinkovitost največjih in submaksimalnih koncentričnih naprežanj (moč učinka = 0,41 in 0,19) ter največjih izometričnih naprežanj (moč učinka = -0,09) manjša (Seitz in Haff, 2015). Večji učinek ekscentrično-koncentričnega naprežanja na balistične gibe avtorji pripišejo predvsem povečani aktivaciji hitrih motoričnih enot (Desmedt in Godaux, 1977). Učinkovitejše delovanje živčno-mišičnih mehanizmov pa ni pomembno samo za večji prirastek in večjo silo, tj. izboljšanje šprintov, skokov in metov, temveč tudi za učinkovitejše upravljanje drže in ravnotežja, tj. izvedbo ravnotežnih nalog.

Raziskave kažejo, da kratkotrajna mišična naprežanja, ki ne povzročijo utrujanja, akutno izboljšajo tudi ravnotežno nalogo (Burdet, Vuillerme in Rougier, 2011). Natančneje, Burdet idr. (2011) so pokazali, da se je v antero-posteriorni (AP) smeri upravljanje drže in ravnotežja med bilateralno stoji izboljšalo, če so posamezniki prej izvedli deset ponovitev unilaterale stoji. Avtorji razloge pripisujejo večji občutljivosti mišičnega vretena in golgijevega kitnega organa zaradi predhodne mišične aktivacije med unilateralo stoji (Burdet idr., 2011). Povečana občutljivost mišičnega vretena lahko nastane zaradi ko-aktivacije alfa in gama motoričnih nevronov, ki nastopi med mišičnim naprežanjem (Vallbo, 1971). Zaradi aktivacije gama-motoričnih nevronov se poveča tudi mišični tonus (Burdet idr., 2011). Večja občutljivost proprioceptorjev pa omogoča tudi boljšo centralno integracijo senzornih informacij (Bartlett in Warren, 2002; Bouët in Gahé, 2000, Kim, Lee in Roh, 2015). Vsi naštetih dejavniki tako izboljšajo centralne in periferne mehanizme upravljanja gibanja med ravnotežnimi nalogami.

Vendar je tu potrebno poudariti, da učinki različnih mišičnih naprežanj, ki povzročijo PAP, na kakovost izvedbe ravnotežnih nalog še niso bili raziskani. Raziskave so že pokazale, da vrsta predhodnega mišičnega naprežanja določa, v kolikšni meri bo prišlo do kratkotrajnega izboljšanja produkcije sile med eksplozivnimi nalogami (Tsolakis, Bogdanis in Nikolaou, 2011; Seitz in Haff, 2015). Ekscentrično-koncentrično mišično naprežanje je pokazalo večji post-aktivacijski potencial kot izometrično mišično naprežanje. Eden izmed razlogov za večji post-aktivacijski potencial ekscentrično-koncentričnega naprežanja v primerjavi

z izometričnim je povečana občutljivost mišičnega vretena (Komi in Bosco, 1978). Predpostavimo lahko, da ekscentrično-koncentrično naprežanje zaradi povečane občutljivosti mišičnega vretena, aktivacije hitrih motoričnih enot in večje mehanske učinkovitosti, akutno izboljša tudi ravnotežno nalogo. Zato smo s to raziskavo želeli ugotoviti: (i) ali ogrevanje z dodano potenciacijsko nalogo izboljša ravnotežje ter (ii) ali je izboljšanje ravnotežja odvisno od tipa prevladujočega naprežanja med izvedbo te naloge (izometrično vs. ekscentrično-koncentrično naprežanje). Pogosto uporabljen test ravnotežja je tandemska stoja (Hile, Brach, Perera in Wert, 2012). Tandemska stoja je zahtevna ravnotežna naloga, saj so meje stabilnosti v frontalni ravnini precej ozke zaradi posebne postavitev stopal v ravni liniji, kjer se peta sprednje noge dotika prstov zadnje noge. Takšna postavitev stopal poveča zahtevnost ravnotežne naloge predvsem v frontalni ravnini (Goodworth in Peterka, 2010). Na osnovi izsledkov zgoraj opisanih raziskav predpostavljamo, da naloge, ki povzročijo akutno izboljšanje delovanja živčno-mišičnega sistema (PAP) izboljšajo tudi kakovost tandemske stoji ter da bo izboljšanje večje po ekscentrično-koncentričnem kot po izometričnem naprežanju.

■ Metode

Preizkušanci

V raziskavo je bilo vključenih 17 preizkušancev, 9 moških in 8 žensk. Povprečna starost merjencev je bila $29 \pm 6,8$ let, povprečna višina $175,8 \pm 8$ cm in povprečna telesna masa $73,2 \pm 10$ kg. Vsi so bili v času izvedbe eksperimenta zdravi in brez mišično-skeletnih poškodb. Pred eksperimentom so bili seznanjeni z morebitnimi tveganji in potekom meritev. Prav tako so pred izvedbo podpisali informirano privolitvev. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsiško-Tokijsko deklaracijo.

Potek eksperimenta

Eksperiment je potekal v Kineziološkem laboratoriju Fakultete za šport Univerze v Ljubljani. Pred začetkom eksperimenta so preizkušanci opravili uvodne meritve, kjer so izvedli osem ponovitev tandemske stoji z zaprtimi očmi. S tem smo zmanjšali vpliv učenja na rezultate eksperimenta. Uvodni meritvi je sledil glavni del eksperimenta, ki so ga preizkušanci opravili v treh delih. V vsakem delu so opravili izbrano ogrevanje

(i) ogrevanje BREZ, kjer po splošnem ogrevanju (opisano spodaj) preizkušanci niso izvedli dodanih potencijskih nalog, (ii) ogrevanje EKS-KON, kjer so preizkušanci po splošnem ogrevanju, enako kot pri BREZ, izvedli poskoke pred tandemsko stoji in (iii) ogrevanje IZOM, kjer so preizkušanci po splošnem ogrevanju, enako kot pri BREZ, izvedli največji izometrični potisk z nogami. Vrstni red izvedbe ogrevanj je bil izbran naključno. Vsako ogrevanje je na začetku pred ravnotežno nalogo vključevalo tudi standardizirano stopanje na klopco (visoko 20 cm, frekvenca stopanja je bila 0,5 Hz), ki je trajalo 6 minut. Intenzivnost stopanja je bila med 60 in 65 % največje frekvence srčnega utripa (FSU), kar je za ogrevanje BREZ znašalo v povprečju $122,0 \pm 8,1$ udarcev na minuto, za ogrevanje IZOM $121,3 \pm 6,1$ udarcev na minuto, za ogrevanje EKS-KON pa $121,3 \pm 7,6$ udarcev na minuto. Takoj za stopanjem so merjenci začeli z izometričnim iztegom nog na nožni preši (IZOM) ali s poskoki (EKS-KON), odvisno od izbranega ogrevanja. Pri ogrevanju BREZ pa so preizkušanci po stopanju na klopco prosto hodili po laboratoriju (5 minut). Pri ogrevanju EKS-KON so preizkušanci izvedli 3×6 poskokov tipa »hop«. To pomeni, da je izvedba temeljila na čim krajšem času odziva in čim večji višini skoka. Vsi poskoki so bili izvedeni brez zamaha, in sicer z rokami v bokih. Odmor med serijami so bili 2,5 minute. Pri ogrevanju IZOM so izvedli 3 največje izometrične iztege z nogami. Potisk so izvajali na sankah s kotom v kolenskih in kolkah 90° . Trajanje največjega potiska je bilo od 5 do 8 s. Odmor med potiski je bil 2,5 minute.

Ravnotežna naloga je bila tandemska stoji, ki so jo preizkušanci izvajali pred ogrevanjem in po njem v treh časovnih točkah, in sicer 0,5 min [PO (0,5 min)], 6 min [PO (6 min)] in 12 min [PO (12 min)] po zadnji nalogi v ogrevanju ne glede na protokol. Pred izvedbo ogrevanja so merjenci izvedli dve ponovitvi tandemske stoji. Po ogrevanju BREZ, EKS-KON in IZOM pa smo v isti časovni točki izvajali samo eno ponovitev [PO (0,5 min), PO (6 min), PO (12 min)].

Tandemska stoji

Preizkušanci so tandemsko stoji izvajali na pritiskovni plošči dimenzije $1200 \times 600 \times 100$ mm, tipa 9287 (Kristler, Winterhur, Švica), s katero smo merili nihanja oprijemališča sile reakcije podlage (OSRP). Preizkušanci so tandemsko stoji izvajali bosi, desna noga je bila spredaj in leva zadaj, pr-

sti leve noge in peta desne noge so se dotikali. Roke so bile prekržane na prsih, oči so bile zaprte. Ena ponovitev tandemske stoji je trajala eno minuto. Pred ogrevanjem so preizkušanci izvedli dve ponovitvi, po ogrevanju pa so preizkušanci v vsaki časovni točki izvedli eno ponovitev. Za posamezno meritev smo med tandemsko stoji izračunali: (i) povprečno hitrost nihanja oprijemališča sile reakcije podlage (OSRP), (ii) povprečno amplitudo nihanja OSRP v sagitalni ravnini (antero-posteriorni smeri) in (iii) povprečno amplitudo nihanja OSRP v frontalni ravnini (medio-lateralni smeri). Podatke smo zajeli in analizirali s programom za zajemanje in analizo podatkov ARS (S2P, Ljubljana, Slovenija). Za statistično analizo smo uporabili povprečne vrednosti izbranih spremenljivk prvih dveh ponovitev (PRED).

Statistična analiza

Za vse spremenljivke je bila izračunana osnovna statistika in preverjena normalnost porazdelitve s Kolmogorov-Smirnov testom. Za ugotavljanje razlik v izbranih spremenljivkah je bila uporabljena analiza variance za ponavljajoče meritve z dvema faktorjema (čas \times ogrevanje). Prvi faktor je imel štiri nivoje [PRED, PO (0,5 min), PO (6 min) in PO (12 MIN)] drugi faktor je imel tri nivoje (BREZ, IZOM, EKS-KON). V primeru statistično značilnih faktorjev in/ali njune interakcije je bil uporabljen post-hoc test z LSD kriterijem. Z njim smo testirali razli-

ke med posameznimi časovnimi točkami pred in po istem ogrevanju ter razlike med ogrevanji v istih časovnih točkah. Dvostranska meja statistične značilnosti je bila sprejeta pri 5 % napaki alfa. Za statistično obdelavo podatkov je bila uporabljena Statistica (Statistica 10, StatSoft, ZDA).

Rezultati

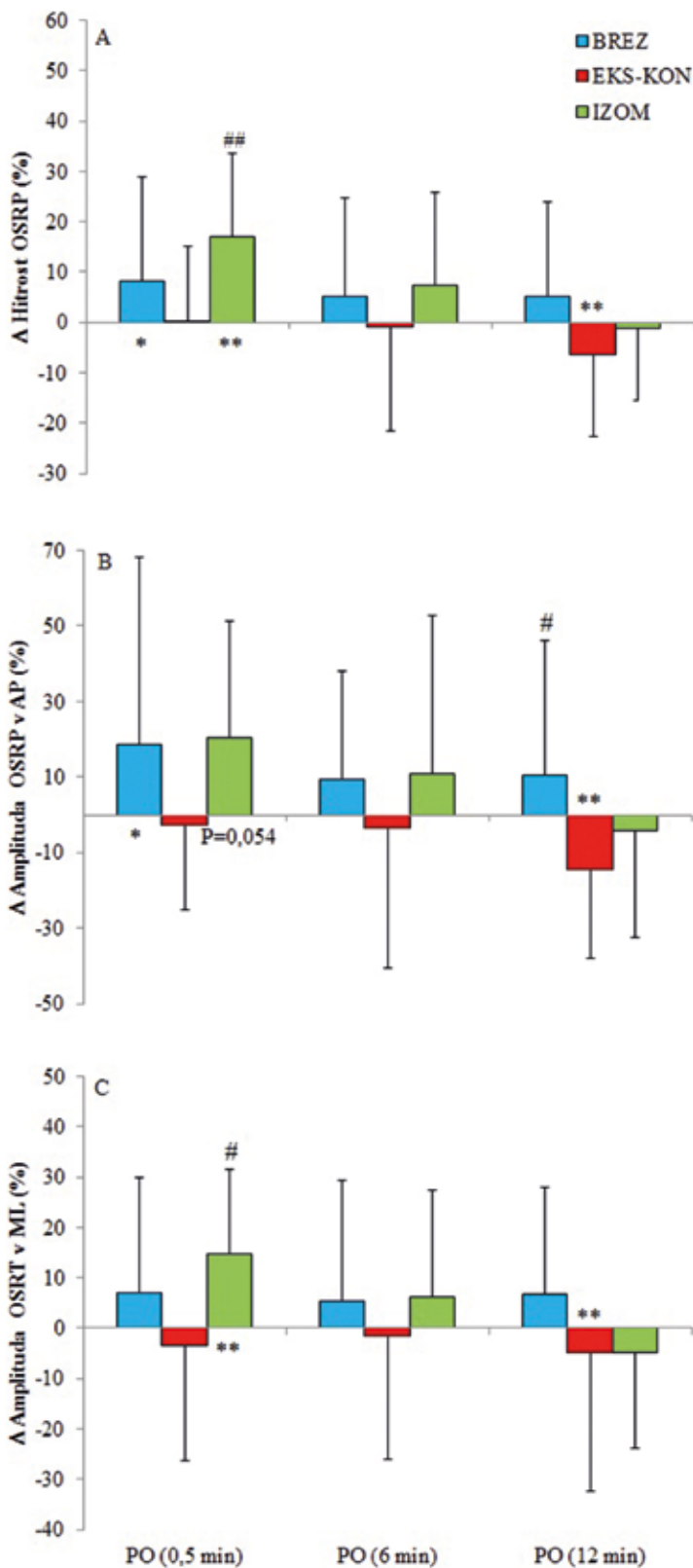
Pri hitrosti OSRP smo ugotovili statistično značilna vpliva časa ($F_{3,48} = 5,5$; $p < 0,01$) in interakcije časa \times ogrevanja ($F_{6,96} = 2,4$; $p < 0,05$), medtem ko vpliv ogrevanja ($F_{2,32} = 0,3$; $p > 0,05$) ni bil statistično značilen. Natančneje, 0,5 min PO ogrevanje IZOM in BREZ povečata hitrost OSRP za $8,2 \pm 20,8$ % ($P < 0,05$) in $16,9 \pm 16,7$ % ($P < 0,01$), medtem ko se v isti časovni točki hitrost OSRP po EKS-KON ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1A). Sprememba po EKS-KON je bila statistično značilno manjša ($P < 0,01$) kot po IZOM (Tabela 1, Slika 1A). V drugi časovni točki, tj. šest minut PO, nobeno izmed ogrevanj ni povzročilo statistično značilnih sprememb v hitrosti OSRP med tandemsko stoji (Tabela 1, Slika 1A). Dvanajst minut po koncu ogrevanja EKS-KON pa se hitrost OSRP zmanjša ($-6,4 \pm 16,3$ %; $P < 0,01$), medtem ko se po ogrevanjih BREZ in IZOM hitrost OSRP ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1A).

Pri povprečni amplitudo nihanja OSRP v AP smeri med tandemsko stoji smo izračunali

Tabela 1
Povprečne hitrosti in amplitude nihanja oprijemališča sile reakcije podlage (OSRP) med tandemsko stoji z zaprtimi očmi.

	ČAS	BREZ	EKS-KON	IZOM
Hitrost OSRP (mm/s)	PRED	$50,0 \pm 12,7$	$54,6 \pm 10,9$	$50,9 \pm 12,5$
	PO (0,5 min)	$55,0 \pm 12,7$	$53,2 \pm 14,2$	$59,3 \pm 17,1$
	PO (6 min)	$51,2 \pm 15,0$	$51,3 \pm 14,9$	$52,7 \pm 12,3$
	PO (12 min)	$52,0 \pm 13,3$	$48,4 \pm 11,0$	$50,2 \pm 10,5$
Amplituda OSRP v AP	PRED	$43,5 \pm 1,5$	$50,9 \pm 2,2$	$45,4 \pm 1,8$
	PO (0,5 min)	$51,6 \pm 2,0$	$45,5 \pm 1,6$	$53,1 \pm 2,8$
	PO (6 min)	$46,7 \pm 1,9$	$44,5 \pm 2,1$	$45,3 \pm 1,7$
	PO (12 min)	$46,4 \pm 1,7$	$38,4 \pm 1,1$	$41,9 \pm 1,6$
Amplituda OSRP v ML	PRED	$10,6 \pm 3,9$	$11,5 \pm 3,3$	$10,5 \pm 3,0$
	PO (0,5 min)	$11,0 \pm 3,4$	$10,7 \pm 3,4$	$12,1 \pm 3,8$
	PO (6 min)	$10,5 \pm 3,9$	$10,4 \pm 3,5$	$10,7 \pm 2,9$
	PO (12 min)	$10,8 \pm 4,0$	$9,9 \pm 3,3$	$10,0 \pm 2,7$

Opomba. PRED – pred ogrevanjem, PO – po ogrevanju, AP – antero-posteriorno (nihanje v sagitalni ravnini), ML – medialno-lateralno (nihanje v frontalni ravnini), BREZ – ogrevanje brez dodanih potencijskih nalog, IZOM – ogrevanje z dodanimi izometričnimi iztegi nog, EKS-KON – ogrevanje z dodanimi poskoki.



Slika 1. Relativne spremembe parametrov prijemališča sile reakcije podlage (OSRP) po ogrevanjih (v % glede na vrednost pred ogrevanjem). BREZ – ogrevanje brez dodanih potencijskih nalog, EKS-KON – ogrevanje z dodanimi poskoki, IZOM – ogrevanje z dodanimi največjimi izometričnimi iztegi nog. Zvezdice označujejo statistično značilno razliko pred in po ogrevanju (**P < 0,01; *P < 0,05). Lestve označujejo statistično značilno razliko v primerjavi z EKS-KON ogrevanjem (##P < 0,01; #P < 0,05). P = 0,054 označuje razliko pred in po ogrevanju, ki je na meji statistične značilnosti.

statistično značilen vpliv časa ($F_{3,48} = 3,8$; $p < 0,05$), medtem ko sta bila vpliva ogrevanja in interakcije časa x ogrevanja statistično neznačilna (ogrevanje; $F_{2,32} = 0,4$; $p > 0,05$, čas x ogrevanje; $F_{6,96} = 1,8$; $p > 0,05$). Natančneje, 0,5 min PO ogrevanju, IZOM in BREZ povečata amplitudo OSRP v AP smeri za $18,5 \pm 49,7\%$ ($P < 0,05$) in $20,4 \pm 30,9\%$ ($P = 0,054$), medtem ko se v isti časovni točki amplituda OSRP v AP smeri po ogrevanju EKS-KON ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1B). Ne glede na vrsto ogrevanja lahko povzamemo, da se šest minut po koncu ogrevanj amplituda OSRP v AP smeri ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1B). Dvanajst minut po koncu ogrevanja EKS-KON pa se amplituda OSRP v AP zmanjša za $14,4 \pm 23,4\%$ ($P < 0,01$), medtem ko se njena vrednost po BREZ in IZOM ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1B).

Tudi primerjava povprečne amplitude nihanja OSRP v ML smeri je pokazala na statistično značilen vpliv časa ($F_{3,48} = 4,2$; $p < 0,05$) in interakcije časa x ogrevanja ($F_{6,96} = 2,4$; $p < 0,05$), medtem ko vpliv ogrevanja ($F_{2,32} = 0,1$; $p > 0,05$) ni bil statistično značilen. V prvi časovni točki po ogrevanju, 0,5 min PO ogrevanju, IZOM poveča amplitudo OSRP v ML smeri za $14,6 \pm 17,04\%$ ($P < 0,05$), medtem ko ogrevanja BREZ in EKS-KON amplitude OSRP v ML smeri ne spremenita statistično značilno (Tabela 1, Slika 1C). Šest minut po koncu nismo izračunali statistično značilnih sprememb v amplitudi OSRP v ML smeri po vseh treh protokolih (Tabela 1, Slika 1C). Dvanajst minut po koncu ogrevanja z EKS-KON pa se amplituda OSRP zmanjša ($-5,0 \pm 18,9\%$; $P < 0,01$), medtem ko se po BREZ in IZOM ne spremeni statistično značilno (Tabela 1, Slika 1C).

Razprava

Cilja raziskave sta bila dva: (i) ugotoviti, ali ogrevanje z dodano potencijsko nalogo izboljša ravnotežje ter (ii) ugotoviti, ali je izboljšanje ravnotežja odvisno od vrste prevladujočega naprežanja med izvedbo te naloge (izometrično vs. ekscentrično-koncentrično naprežanje). Rezultati so pokazali, da ogrevanje, kjer po nizko-intenzivnem stopanju dodamo poskoke (tj., ekscentrično-koncentrično naprežanje), lahko zmanjša hitrost in amplitudo nihanja OSRP med tandemsko stojo 12 minut po njegovem koncu. Ogrevanje BREZ (samo nizko intenzivno stopanje) in ogrevanje IZOM pa povzročita povišanje hitrosti in amplitude

nihanja OSRP (Slika 1) med tandemsko stojo z zaprtimi očmi, kar pomeni poslabšanje ravnotežja. Trend poslabšanja kakovosti izvedbe po BREZ in IZOM pa je izzvenel v zadnjih dveh spremljanih časovnih točkah (6 in 12 minut po koncu ogrevanja; Slika 1).

Rezultati naše študije se nekoliko razlikujejo od rezultatov podobne študije, ki je preverjala spremembe unilateralne stoje po kolesarjenju (12 min, prvih pet minut pri FSU ~130 ud/min, ~150 ud/min drugih pet minut in ~170 ud/min zadnji dve minuti) (Paillard, Kadri, Nouar in Noé, 2018). V tej študiji so ugotovili, da je kolesarjenje statistično značilno znižalo hitrost OSRP med unilateralno stojo (desne in leve noge), v frontalni in sagitalni ravnini, in sicer 10 ter 15 minut po koncu aktivnosti, medtem ko takoj po kolesarjenju ni prišlo do statistično značilnih razlik. Največja razlika med študijama se tako pojavi takoj po koncu ogrevanja, kjer sta oba protokola IZOM in BREZ celo poslabšala kakovost izvedbe tandemske stoje z zaprtimi očmi, medtem ko kolesarjenje ni povzročilo statistično značilnih razlik. Razlogov je lahko več. Prvi razlog je lahko razlika v intenzivnosti med stopanjem in kolesarjenjem. Podroben pregled eksperimentalnega protokola obeh študij pokaže, da je bila naša aerobna ciklična aktivnost krajša in najverjetneje nekoliko manj intenzivna, saj je trajala 6 minut in z nižjo absolutno frekvenco srčnega utripa (FSU) (~120 ud/min).

Neposredna primerjava intenzivnosti sicer ni možna, ker Paillard idr. (2018) ne navajajo relativne intenzivnosti (delež frekvence srčnega utripa od največje). Lahko pa predpostavimo, da krajši čas stopanja v primerjavi s kolesarjenjem, verjetno ni bil dovolj za podoben metabolni odziv, dvig mišične temperature in enako aktivacijo centralnega, perifernega in živčnega sistema, ki bi povzročil podoben odziv kot v študiji Paillard idr. (2018). Potrebno je poudariti, da se kakovost ravnotežja (hitrost in povprečna amplituda v AP smeri) 0,5 min PO IZOM in BREZ celo poslabša zaradi morebitne aktivacije respiratornih mišic in srčne mišice (Paillard idr., 2018), ki povečajo nihanje trupa (Conforto, Schmid, Camomilla, D'Allessio in Cappozzo, 2001).

Znano je, da izometrična naprežanja zaradi aktivacije velikega števila prečnih mostičkov ugodno vplivajo na fosforilacijo lahkih verig miozina ter povzročijo tudi spremembe v mišični arhitekturi (Dauchateau in Hainaut, 1984), kar posledično privede do učinkovitejše produkcije mišične sile.

Vendar rezultati naše študije nakazujejo, da se je kakovost izvedbe tandemske stoje po ogrevanju IZOM najbolj poslabšala. Statistično značilne razlike v nihanju OSRP med tandemsko stojo pa se pojavijo, ko primerjamo IZOM in EKS-KON ogrevanje (Slika 1A in C). Medtem ko ogrevanje IZOM poveča hitrost in amplitudo nihanja OSRP 0,5 min PO, se v isti časovni točki po ogrevanju EKS-KON le-ta ne spremeni statistično značilno oz. se 12 min po koncu ogrevanja celo zmanjša. Najverjetneje obe naprežanji povzročita utrujenost, saj že kratko-trajne mišične aktivacije poleg izboljšane delovanja živčno-mišičnega sistema (post-aktivacijske potenciacije) povzročijo tudi procese poslabšanja živčno-mišičnega delovanja (utrujenost) (Rassier in Macintosh, 2000). Vendar je utrujenost zaradi večjega potencijskega potenciala pri EKS-KON manj izražena, zato takoj PO koncu ogrevanja ne pride do statistično značilnih sprememb v hitrosti in amplitudi OSRP. Po dovolj dolgem počitku pa morebitna utrujenost izzveni, in se pokaže potenciacija, zato se 12 min po koncu EKS-KON ogrevanja hitrost in amplituda nihanja OSRP med tandemsko stojo z zaprtimi očmi zmanjšata. Na drugi strani ogrevanje IZOM nima tako velikega potencijskega potenciala, tako da po ogrevanju IZOM prevladujejo procesi utrujenosti, kar povzroči višjo hitrost in amplitudo nihanja OSRP v vseh časovnih točkah (tj. 0,5 min, 6 min in 12 min). Tudi druge raziskave so že pokazale, da je 5 do 60 s po koncu izometričnega naprežanja prišlo do zmanjšanja nivoja aktivacije in do slabšega širjenja akcijskih potencialov znotraj mišičnih vlaken (Kent-Braun, 1999; Brazaitis idr., 2012). Oba omenjena procesa lahko zmanjšata prirastek mišične sile, kar je lahko vplivalo tudi na poslabšanje upravljanja drže in ravnotežja med tandemsko stojo v naši raziskavi. Metaanaliza Seitza in Haffa (2015) prav tako poroča, da potencijske akcije, ki so uporabljale največje izometrično naprežanje, niso izboljšale rezultatov šprintov, skokov in metov, medtem je bila učinkovitost potencijskih akcij, ki so uporabljale ekscentrično-koncentrična naprežanja, večja. Najverjetneje do večje potencijske vloge poskokov, ki so jih preizkušanci izvajali po nizko-intenzivnem stopanju, privede izboljšana občutljivost mišičnega vretena, ki je eden izmed najpomembnejših proprioceptorjev. Njegova naloga je, da osrednjemu živčnemu sistemu sporoča dolžino mišice in hitrost njene spremembe. Oba dejavnika pa sta pomembna za zaznavanje odklonov težišča

teles od ravnovesne lege med tandemsko stojo z zaprtimi očmi. Večja občutljivost mišičnega vretena po poskokih lahko nastane zaradi večje aktivacije gama motoričnih nevronov (Burdet idr., 2011).

Raziskave tudi poročajo, da večja občutljivost mišičnega vretena povzroči tudi boljše centralno integracijo senzornih informacij (Bartlett in Warren, 2002; Bouët in Gahé, 2000, Kim idr., 2015), kar najverjetneje pripomore k boljši izvedbi ravnotežnih nalog z zaprtimi očmi, saj se delež somatosenzornega priliva, ki ga osrednji živčni sistem uporablja za upravljanje drže in ravnotežja, poveča iz 50 % na 68 % v primerjavi z deležem med tandemsko stojo z odprtimi očmi (Peterka, 2012). Tu je potrebno poudariti, da je do izboljšanja kakovosti izvedbe tandemske stoje, tj. manjše hitrosti in amplitude nihanja OSRP, prišlo samo 12 minut po koncu EKS-KON ogrevanja, medtem ko takoj po koncu (0,5 min) razlike niso bile statistično značilne. Zdi se, da potenciacijo živčnih mehanizmov, tj. večjo občutljivost mišičnega vretena, prikrije večja utrujenost ali tudi aktivacija respiratornih in srčne mišice takoj po koncu EKS-KON, ki pa postopoma izzveni 12 min po koncu ogrevanja.

Pomembni omejitvi študije sta dve. Prva je povezana z zahtevnostjo tandemske stoje, ker je v veliki meri odvisna od individualnih lastnosti in sposobnosti, zato predstavlja tandemska stoja za vsakega različno stopnjo intenzivnosti. Druga je stopnja treniranosti preizkušancev. Pri bolj treniranih preizkušancih (na področju moči) se učinki post-aktivacijske potenciacije bolj izražajo kot pri netreniranih.

■ Zaključek

Na osnovi rezultatov naše študije lahko predlagamo, da je pred ravnotežno vadbo smiselno vključiti poskoke oz. ekscentrično-koncentrično naprežanje kot potencijsko aktivnost, še posebej takrat, kadar pred vadbo ravnotežja izvajamo ciklične oz. kratkotrajne nižje intenzivne obremenitve.

■ Literatura

1. Asadi, A, Saez de Villarreal, E. in Arazi, H. (2015). The Effects of Plyometric Type Neuromuscular Training on Postural Control Performance of Male Team Basketball Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1870–1875.

2. Bartlett, M. in Warren, P. (2002). Effect of warming up on knee proprioception before sporting activity. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2), 132–134.
3. Bouët, V. in Gahé, Y. (2000). Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neuroscience Letters*, 289(4), 143–146.
4. Brachman, A., Kamieniarz, A., Michalska, J., Pawtowski, M., Stomka, K. J. in Juras, G. (2017). Balance training programs in athletes - a systematic review. *Journal of Human Kinetics*, 58, 45–64.
5. Brazaitis, M., Skurvydas, A., Pukėnas, K., Daniusevičiūtė, L., Mickevicienė, D. in Solianik, R. (2012). The effect of temperature on amount and structure of motor variability during 2-minute maximum voluntary contraction. *Muscle Nerve*, 46(5), 799–809.
6. Burdet, C., Vuillerme, N. in Rougier, P. R. (2011). How performing a repetitive one-legged stance modifies two-legged postural control. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2911–2918.
7. Conforto, S., Schmid, M., Camomilla, V., D'Alessio, T. in Cappozzo, A. (2001). Hemodynamics as a possible internal mechanical disturbance to balance. *Gait & Posture*, 14(1), 28–35.
8. Dauchateau, J. in Hainaut, K. (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 56(2), 296–301.
9. Desmedt, J., E. in Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *The Journal of Physiology*, 264(3), 673–693.
10. Eils, E., Schröter, R., Schröder, M. in Gerss, J. (2010). Multistation proprioceptive exercise program prevents ankle injuries in basketball. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(11), 2098–2105.
11. Emery, C. A. in Meeuwisse, W. H. (2010). The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 44(8), 555–562.
12. Goodworth, A. D. in Peterka, R. J. (2010). Influence of stance width on frontal plane postural dynamics and coordination in human balance control. *Journal of Neurophysiology* 104(2), 1103–1118.
13. Hile, E. S., Brach, J. S., Perera, S. in Wert, D. M. (2012). Interpreting the need for initial support to perform tandem stance tests of balance. *Physical therapy*, 92(10), 1316–1328.
14. Hodgson, M., Docherty, D. in Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585–595.
15. Kent-Braun, J. A. (1999). Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(1), 57–63.
16. Kim, Y. D., Lee, K. B. in Roh, H. L. (2015). Immediate effects of the activation of the affected lower limb on the balance and trunk mobility of hemiplegic stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(5), 1555–1557.
17. Kiss, R., Schedler, S. in Muehlbauer, T. (2018). Associations Between Types of Balance Performance in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 9(1366).
18. Komi, P. V. in Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports*, 10, 261–265.
19. Lorenz, D. (2011). Postactivation potentiation: an introduction. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 6(3), 234–240.
20. McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G. in Rattray, B. (2015). Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Medicine*, 45(11), 1523–1546.
21. Paillard, T., Kadri, M. A., Nouar, M. B. in Noé, F. (2018). Warm-up Optimizes Postural Control but Requires Some Minutes of Recovery. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2725–2729.
22. Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control - senzorna integracija. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118.
23. Rassier, D. E., in Macintosh, B. R. (2000). Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(5), 499–508.
24. Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453–458.
25. Seitz, L. B. in Haff, G. G. (2015). Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 46(2), 231–240.
26. 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 and Medicine*, 10(3), 577–83.
27. Vallbo, AB. (1971). Muscle spindle response at the onset of isometric voluntary contractions in man. Time difference between fusimotor and skeletomotor effects. *The Journal of Physiology*, 218(2), 405–31.

Katja Čop
Waldorfska šola Ljubljana
Streliška 12, 1000 Ljubljana
katja.cop@waldorf.si