

# VRATNA KINESTEZIJA KAO ZNAČAJAN DOPRINOS U ZAŠTITI POSTURALNE STABILNOSTI KOD TAEKVONDO BORACA

## NECK KINESTHESIA AS A SIGNIFICANT CONTRIBUTION TO THE PROTECTION OF POSTURAL STABILITY IN TAEKWONDO FIGHTERS

**Ladislav Mesarič**, Fakultet za sport i psihologiju, Novi Sad  
**Romana Romanov**, Fakultet za sport i psihologiju, Novi Sad  
**Živa Majcen Rošker**, Faculty of Sport, University of Ljubljana, Ljubljana (Slovenia),  
**Jernej Rošker**, Faculty of Health Sciences, Univeristy of Primorska, Izola (Slovenia),

### ABSTRACT

Keywords:  
Taekwondo,  
Postural balance,  
Cervical spine,  
Kinesthetic  
awareness

### SAŽETAK

**ključne reči:**  
aekvondo,  
posturalna  
ravnoteža, vratni  
deo kičme,  
kinestetička  
svesnost,  
kinestetički osećaj

Taekvondo borcima potrebna je dobra posturalna stabilnost da bi održali taktičku superiornost nad protivnikom. Posturalnu ravnotežu kontroliše somatosenzorni, vizuelni i vestibularni sistem. Vratni segment kičme je u direktnoj vezi sa vizuelnim i vestibularanim sistemom, poseduje obilje receptora u vezivnom tkivu kičme. Specifični zaštitni položaji u taekvodou karakterisan je kretnjom rotacije vrata i glave, te upravo aferentni deficit na nivou vratne kičme može uticati na promenu ravnoteže. Cilj ove studije je da ispita povezanost kinestezije regije vrata i ravnoteže, pri specifičnom zaštitnom položaju kod taekvondo boraca.

U studiji je učestvovalo 16 taekvondo boraca (starosti  $22 \pm 1,3$ . god) nacionalnog ranga. Tenzoplatformom (Bilateral force plate, S2P, Ljubljana, Slovenia) je procenjena posturalna ravnoteža na jednoj nozi pri položaju vrata pod uglom od  $0^\circ$  i uglom od  $90^\circ$ . Kinestetička svesnost vratne kičme, procenjivana je Baterflaj testom (Butterfly Method) putem Neker sistema (NeckCare ehf., Reykjavik, Iceland). Statistički značajna korelacija uočena je za vrednosti standardne devijacije kašnjenja (Undeshoot SD), pri poziciji vrata pod uglom od  $90^\circ$ , a pri stajanju na nedominantnoj nozi. Ove korelacije su najzapaženije za srednje vrednosti amplitude pri kretanju u medijalno lateralnom pravcu ( $r > 0,85$ ) i pri anteriorno postreioranom pravcu ( $r > 0,80$ ).

Rezultati ove studije pokazuju da taekvondo sportisti razvijaju specifična prilagođavanja u kontroli ravnoteže. Povećana varijabilnost kinestetičke svesnosti za regiju vrata je u korelaciji sa povećanim prosečnim vrednostima amplitude kretanja pri medijalno-lateralnom zamahu, a pri osloncu na primarnoj nozi. To može dovesti do većih oscilacija tela, ravnotežnog disbalansa

tokom borbe, smanjene stabilnosti, produženog vremena reakcije i brzine. Preporučuje se **specifičan trening cervikalnog (vratnog) dela kičme za poboljšanje performansi u borbi.**

## Abstract

Taekwondo fighters require sufficient postural stability to maintain tactical superiority over an opponent. Postural balance is controlled by somatosensory, visual and vestibular system. Cervical spine has neurophysiological connection to the visual and vestibular system as well as abundance of receptors within the connective tissues of the spine. Guard-specific posture in taekwondo requires constant head and neck rotations, therefore deficits in cervical spine could alter the balance. The aim of the study was to study connections between cervical spine kinesthesia and balance in taekwondo specific postural tasks. Sixteen healthy male taekwondo fighters ( $22 \pm 1,3$  years of age) competing at the national level were enrolled in the study. Postural balance during a single leg stance while facing forward or with  $90^\circ$  of neck torsion using a force plate (Bilateral force plate, S2P, Ljubljana, Slovenia) was assessed. Kinesthetic awareness of cervical spine was measured using a Butterfly test with a NeckCare system (Butterfly Method, NeckCare ehf., Reykjavik, Iceland). Statistically significant correlations were observed for Undershoot standard deviation of the Butterfly test and Neck torsion balance test while standing on the non-dominant leg. These correlations were most prominent for the average amplitude of centre of pressure movement in the medial-lateral direction ( $r > 0.85$ ) and anterior posterior direction ( $r > 0,80$ )

Results of this study indicate that taekwondo fighters develop side specific adaptations in the balance control. Increased variability of cervical spine kinesthetic awareness is correlated to an increased average amplitude of medial-lateral body sway while standing on the kick preferred leg. This can lead to higher body oscillations during the fight, decreased stability, prolonged reaction time and quickness. Specific cervical spine training is recommended to improve fighting performance.

## Uvod

Taekwondo sportistima je potrebna dovoljna posturalna stabilnost da bi se bolje održala taktička superiornost nad protivnikom (Kim et al., 2017). Dosadašnja istraživanja bila su usmerena ka posturalnoj ravnoteži, gard poziciji koja se realizuje pri stavu na obe noge ili jednoj nozi, ali sa pogledom prema napred

(Yoo et al., 2018). Gard poziciji na jednoj nozi kao i realizacija udarca može biti realizovana dominantnom i nedominantnom nogom (Kim et al., 2010). Specifični taekvondo pokreti tokom borbe zahtevaju prilagođavanje u gard poziciji, a u smislu posturalnog njihanja, rotacije trupa i povećanja torzije za segment vrata (cervikalna) koji je usmeren ka protivniku. Dominantna gard pozicija pri osloncu na jednoj nozi, uspostavlja značajnu mišićnu asimetriju koje je dodatno provocirana pri torziji vrata prema protivniku. Kako predprogramiranje pokreta zavisi od različitih senzornih nadražaja, asimetrije u senzornom prenosu impulsa mogu prouzrokovati promenu u motoričkom prenosu nadražaja na periferne efekte i krajnju motoričku reakciju (Dai et al., 2019), a posledično i na posturalnu ravnotežu. Literatura upućuje na važnost integracija različitih senzornih nadražaja pri kontroli posturalnog njihanja u gard poziciji, pre svega proprioceptora skočnog zgloba i stopala kao proksimalnih senzornih nadražaja (Sarabon et al., 2016). Sa druge strane proksimalni segment, vratni, prema navodima Boyd-Klarka i saradnika (Boyd-Clark et al., 2000) sadrži mnoštvo proprioceptora unutar mišićne i kičmene strukture. Pored normalnog funkcionisanja, proprioceptori, a naročito mišićna vretena veoma su osetljivi na pokrete/okrete glave (Petrossi & Schieppati, 2014). Osnovna istraživanja na polju motorne kontrole upućuju na to da je cervikalna kičma veoma podložna mehaničkim nadražajima, kao što su vibracije koje dalje utiču na telesnu svest i orijentaciju u prostoru (Wannaprom et al., 2018).

Budući da držanje tela u taekvondou obuhvata jednostrano okretanje vratne kičme uz relativno dugotrajno prilagođavanje, kinestitička svest vratnog segmenta može imati značajan uticaj na performanse ravnoteže. Kako se pokreti glave (u svim pravcima) realizuju putem vratnog segmenta, realizuje si i neposredna neurofiziološka veza sa vestibularnim i vidnim sistemom, te bi prilagođavanje vrata u proprioceptivnom sistemu moglo uticati na vestibularni i vidni sistem, a posledično i na performanse ravnoteže (Peterson, 2004). Na osnovu tih sugestija, važno je razmotriti ispitivanje performansi ravnoteže tokom torzije vrata, jer literatura upućuje na to da testovne procedure za ispitivanje ravnoteže mogu ukazati na deficit senzornog prenosa cervikalne kičme. Prema navodima Vilijamsa i saradnika (Williams et al., 2017) na osnovu ispitivanja torzije vrata, diferenciraju ispitanike na one koji imaju, odnosno nemaju nedostatak senzornog prenosa iz receptora vrata, ali upoređivanje je vršeno samo kod pacijenata sa povredom vratne kičme usled „bič“ mehanizma (eng. whiplash patients). Zanimljivo je da se u nastavku istraživanja pokazalo da su ispitanici

kod kojih je identifikovan deformitet kičmenog stuba u vratnom segmentu, imali lošiju ravnotežu kad je vrat bio u torziji, nego kad je bio okrenut ka napred (Williams et al., 2017).

Budući da se izmenjena kinestetička svest može uočiti kod zdravih sportista, posebno onih sa asimetričnim proprioceptivnim nedostatkom, treba ispitati senzorni prenos iz cervikalne kičme pri torzije vrata i mogući uticaj na performanse ravnoteže. Glavni cilj ovog istraživanja dovodi se u vezu sa ispitivanjem postojanja korelacija između kinestetičke svesti vratne kičme i performansi ravnoteže u različitim položajima pri zauzimanju stava na jednoj nozi kod taekvondo boraca. Aspekti ispitivanog odnosa mogli bi dati dalji uvid u mehanizme kontrole ravnoteže kod taekvondo sportista.

## Metod

Uzorak ispitanika činilo je 16 taekvondo boraca nacionalnog ranga (juniorska i seniorska kategorija). Svi ispitanici su bili muškog pola prosečne starosti  $18,3 \pm 3,3$  (Mean $\pm$ St.Dev.), prosečne telesne težine  $70,3 \text{ kg} \pm 15,1$  (Mean $\pm$ St.Dev.) i prosečne telesne visine  $178,8 \text{ cm} \pm 7,9$  (Mean $\pm$ St.Dev.). Svi ispitanici su bili zdravi, odnosno nisu prijavljivali tegobe: prisustvo bolova u vratu, simptome povezane sa bolom u vratu, povrede donjih ekstremiteta ili trupa u poslednjih šest meseci, ili vestibularne poremećaje. Učesnici nisu smeli da budu pod uticajem lekova ili alkohola 24 sata pre ispitivanja.

## Varijable

Merenje ravnoteže izvršeno je statičkim testovima, analizom oscilovanja projekcije centralnog težišta tela na podlogu (COP) (Šarabon i sar., 2010), a na osnovu sledećih varijabli: ukupna putanja opisana projekcijom COP na podlogu (Sptot), putanja opisana projekcijom COP na podlogu u anterior posterior pravcu (SPap), putanja opisana projekcijom COP na podlogu u medialnom lateralnom pravcu (SPml), prosečna amplituda COP u anterior posterior pravcu (Aap), prosečna amplituda COP u medialno lateralnom pravcu (Aml), prosečna frekvencija COP u anterior posterior pravcu (Fap) i prosečna frekvencija COP u medialno lateralnom pravcu (Fml). Pomenute varijable utvrđene su za četiri različite pozicije, i to u stoju na jednoj nozi (levoj/desnoj), a pri poziciji vrata u odnosu na trup kada je on pod uglom  $0^\circ$ , odnosno  $90^\circ$ .

Kinestetička svest vratne kičme ispitivana je na osnovu „Butterfly“ testa (NeckCare ehf., Reykjavik, Iceland). Test je detaljnije opisan u daljem tekstu (Kristjansson & Oddsdottir, 2010).

Za tačnost amplitude koja označava prosečnu neusklađenost tačke „Butterfly“ i kursora na glavi, koji označava kretanje vrata. U milimetrima (mm)  $\pm 2$  standardna odstupanja, dobijamo sledeće varijable: tačnost amplitude za laki BT\_AA\_e, srednji BT\_AA\_m i težak nivo BT\_AA\_d.

Tačnost usmerenja označava u procentima koliko od ukupnog vremena je ispitanik proveo na meti (time on target) (BT\_ToT\_Dacc\_e, BT\_ToT\_Dacc\_m, BT\_ToT\_Dacc\_d), koliko vremena je proveo iza mete (BT\_Und\_Dacc\_e, BT\_Und\_Dacc\_m, BT\_Und\_Dacc\_d) i koliko ispred mete (BT\_Over\_Dacc\_e, BT\_Over\_Dacc\_m, BT\_Over\_Dacc\_d). U procentima (%)  $\pm 2$  standardna odstupanja. Svaka varijabla je izmerena na tri nivoa: laki (e), srednji(m) i teški (d).

Osećaj položaja glave meren je testom Head-Neck Relocation pomoću Neckcare senzora.

Apsolutna greška je srednja vrednost ukupnog odstupanja od početne tačke tokom šest ispitivanja (za svaki pravac), zanemarujući pozitivne (prekoračenje) i negativne (potkoračenje) vrednosti. Dobijene su sledeće varijable: absolutna greška pri okretu glave desno HNR\_R\_Abs, absolutna greška pri okretu glave levo HNR\_L\_Abs, absolutna greška pri pomeranju glave napred HNR\_F\_Abs, absolutna greška pri pomeranju glave nazad HNR\_B\_Abs.

Konstantna greška uključuje potcenjivanje i prekoračenja ciljne pozicije i predstavlja prosečnu veličinu i smer greške. Dobijene su sledeće varijable: konstantna greška pri okretu glave desno HNR\_R\_Cerr, konstantna greška pri okretu glave levo HNR\_L\_Cerr, konstantna greška pri pomeranju glave napred HNR\_F\_Cerr, konstantna greška pri pomeranju glave nazad HNR\_B\_Cerr.

Greška varijabli opisuje konzistentnost merenja. Niska greška varijabli znači, da su sva merenja imala sličnu vrednost, bez obzira na to koliko su bile blizu cilja. Dobijene su sledeće varijable: greška varijabli pri okretu glave desno HNR\_R\_Verr, greška varijabli pri okretu glave levo HNR\_L\_Verr, greška varijabli pri pomeranju glave napred HNR\_F\_Verr, greška varijabli pri pomeranju glave nazad HNR\_B\_Verr.

## Postupak merenja

Izvršeni su testovi posturalne ravnoteže, kinestezije vratne kičme (Butterfly test) i osećaja za položaj glave (Head-to-Neutral). Posturalna ravnoteža je procenjena testovima oscilacije tela u okviru sledećih posturalnih vežbi: Stajanje na levoj nozi, desna noga podignuta  $90^\circ$ , glava u produžetku kičmenog stuba; stajanje na desnoj nozi, leva

noga podignuta 90°, glava u produžetku kičmenog stuba; stajanje na levoj nozi, desna noga, podignuta 90°, glava okrenuta 90° u desnu stranu; stajanje na desnoj nozi, leva noga podignuta 90°, glava okrenuta 90° u levu stranu. Sve vežbe ravnoteže su se izvodile otvorenih očiju. Učesnici su se fokusirali na tačku na zidu koja je bila udaljena 2 m od nivoa njihovih očiju. Ruke su im bile postavljene na bokove, dok je noga na kojoj su stajali bila istegnuta ali ne i zakočena. Učesnici su trebali da stoje u svakoj od četiri pozicije, što je moguće mirnije, tri puta po 30 sekundi sa intervalima odmora od 60 sekundi. Sva ispitivanja ravnoteže izvedena su gore pomenutom redosledom na tenziometrskoj ploči, koja meri kretanje centra pritiska (CoP) (Bilateralna tenziometriška ploča, S2P, Ljubljana, Slovenija).

Kinestetička svest vratne kičme ispitivala se na osnovu Butterfly testa. Pokreti vrata izmereni su senzorom NeckCare, postavljenim na glave učesnika dok su uspravno sedeli. Tokom ispitivanja, učesnici su što je moguće tačnije pratili nepredvidivu metu na ekranu računara. Korišćene su tri različite putanje kretanja (laka, srednja i teška). Kretanje mete i trajanje testa unapred su definisani softverom NeckCare.

Osećaj za položaj glave meren je testom pomeranja glave (Head-Neck Relocation Test), korišćenjem senzora i softvera NeckCare. Svaki učesnik je sedeo zavezanih očiju, naslonjen leđima na naslon za leđa. Pre svakog testa, glava i vrat su bili u neutralnom položaju. Svaki učesnik je izvodio pokrete glavom u desnu stranu, levu stranu, gore i dole, a posle svakog pokreta se vraćao u neutralni položaj. Testovi su ponovljeni šest puta uzastopno.

### Analiza podataka:

Kretanje CoP je praćeno i analizirano uz pomoć softvera LabView (ARS Force Plate, S2P, Ljubljana, Slovenija). Signale smo uzorkovali na 1000 Hz i filtrirali (propusni opseg od 0,04 – 10 Hz Butterworth, bez zaostajanja četvrtog reda).

**Table 1.:** Rezultati ANOVE za obe noge prilikom stajanja na jednoj nozi sa pogledom napred i stajanja na jednoj nozi sa okretanjem glave za 90

	Pogled napred i sa rotacijom u stranu			Dominatna i nedominatna noga		
	F	P	$\mu^2$	F	p	$\mu^2$
Sptot	0,510	0,445	0,008	0,042	0,952	0
Spap	0,642	0,597	0,021	0,284	0,438	0,006
Spml	0,021	0,908	0,014	0,622	0,564	0,009
Aap	1,480	0,097	0,032	0,017	0,994	0,001
Aml	0,504	0,734	0,009	2,264	0,373	0,024
Fap	2,278	0,078	0,004	0,580	0,721	0,012
Fml	0,245	0,431	0,008	2,463	0,304	0,008

Statistička značajnost je postavljena kao  $p < .05$  (\*) i  $p < .001$  (\*\*).  
Izvor: (Autor)

Pokreti glave i vrata tokom testa Butterfly analizirani su softverom NeckCare. Parametri (i) srednje i standardno odstupanje vremena provedenog na meti tokom svakog ispitivanja izraženi u sekundama (vreme na meti), (ii) vreme položaja glave i vrata provedenog iza mete i izraženi u procentima od ukupnog vremena (skraćeno vreme), (iii) vreme položaja glave i vrata provedeno ispred mete izraženi kao procenat ukupnog vremena (prekoračenje) i (iv) prosečna neusklađenost mete i kursora glave u milimetrima (preciznost amplitude) korišćeni su za dalju analizu.

Softver NeckCare korišćen je za analizu preciznosti premeštanja glave iz neutralnog položaja u različite strane i vraćanje u neutralni položaj

### Statističke analize

Statistička analiza izvršena je u SPSS (SPSS 23.0 software, SPSS Inc., Chicago, USA). Pirsonov koeficijent korelacije (r) korišćen je za ispitivanje korelacije između parametara ravnoteže sa testovima Butterfly i Head-to-Neutral, te je korigovan za višestruka poređenja korišćenjem postupka Benjamin i Hochberg. Nivo statičke značajnosti (p) postavljen je na  $p < .05$ .

### Rezultati istraživanja

Rezultati ANOVE za obe stajne noge pri poziciji glave tj. pogledom ka napred (rotacija 0°) i okretom glave za 90° predstavljani su u Tabeli 1. Vrednosti korelacije između njihanja tela i kinestetičke svesti za segment vratne kičmi predstavljene su u Tabeli 2.

ANOVA nije pokazala razlike u ravnoteži između stavova dok su bili okrenuti prema napred ili sa torzijom vrata od 90°. Takođe nije pokazala razlike u ravnoteži dok su stajali na dominantnoj i nedominantnoj nozi.

Statistički značajna korelacija identifikovana je između standardne devijacije tačnosti amplitude (Butterfly test) pri kašnjenju za metom (varijabla konstantna greška) i parametara ravnoteže pri stajanju na nedominantnoj nozi

uz okret glave za 90°. Pronađene su značajne korelacije putanje njihanja i parametara amplitude u stajanju na nedominantnoj nozi sa rotacijom glave za 90° u svim pravcima, osim putanje njihanja u medijalno-lateralnom smeru. Potpuno suprotno visoke i statistički značajne korelacije primećene su za standardno devijaciju tačnosti amplitude (Butterfly test) kod prekoračene mete (overshoot) i parametara ravnoteže kod stajanja na nedominantnoj nozi bez okretanja glave. Identifikovana je i značajna korelacije za sve parametare putanje i amplitude njihanja pri stajanju na nedominantnoj nozi bez rotacije glave.

Greška varijabli za test premeštanja glave u neutralan položaj sa desne strane (HNR\_R\_Verr) bila je u značajnoj korelaciji sa putanjom njihanja u anteriorno-posteriornom smeru, a konstantna greška u testu premeštanja glave u neutralan položaj po fleksiji (HNR\_F\_Cerr) bila je u značajnoj korelaciji sa prosečnom frekvencijom promena smeru kretanja CoP u medijalno-lateralnom smeru.

**Table 2.:** Korelacije između njihanja tela i kinestetičke svesti o vratnoj kičmi kod stoje na nedominantnoj nozi

		BT_Und_Dacc_m_sd	BT_Over_Dacc_d_sd	HNR_R_Verr	HNR_F_Cerr
		r	r	r	r
Jedna noga bez rotacije glave	Sptot	.408	.799**	-.651	-.140
	SPap	.579	.752*	-.782*	-.245
	SPml	.304	.812**	-.397	.078
	Aap	.599	.759*	-.583	.236
	Aml	-.097	.611*	-.314	.648
	Fap	-.459	-.386	.345	-.601
	Fml	.231	-.109	-.242	-.845**
Jedna noga sa rotacijom glave 90°	Sptot	.792*	.624	-.752	-.042
	SPap	.814*	.487	-.733	-.175
	SPml	.822	.418	-.678	-.209
	Aap	.875*	.677	-.605	-.175
	Aml	.886*	.499	-.787	-.086
	Fap	-.684	-.714	.529	-.075
	Fml	-.587	-.524	.578	.014

Statistička značajnost je postavljena kao  $p < .05$  (\*) i  $p < .001$  (\*\*). Izvor: (Autor)

*Napomene.* Parametri kod kojih nisu pronađene značajne korelacije izuzeti su iz tabele. Predstavljeni su svi parametri ravnoteže i parametri kinestetičke svesti vratne kičme: Greška varijabli za test premeštanja glave u neutralan položaj sa desne strane (HNR\_R\_Verr), konstantna greška u testu premeštanja glave u neutralan položaj po fleksiji (HNR\_F\_Cerr), standardna devijacija tačnosti amplitude (Butterfly test) kod prekoračene mete (eng. overshoot), standardna devijacija tačnosti amplitude (Butterfly test) kod kašnjenja za metom (eng. undershoot).

## Diskusija

Rezultati istraživanja upućuju na to da nema razlika u ravnoteži pri stajanju na levoj ili desnoj nozi, kao ni pri stajanju sa pogledom napred i stajanju sa okretom glave za 90°. Zaključci su u skladu sa dosadašnjim istraživanjima. U svom meta istraživanju Pailard i Noe (Pailard & Noé, 2020) zaključuju da dosadašnja istraživanja ne pružaju jasan odgovor o tome da li stoj na dominantnoj ili nedominantnoj nozi bitno utiče na ravnotežu.

TKD zahteva dobru ravnotežu na jednoj nozi, jer se svi udarci nogom izvode tako da sportist stoji na jednoj nozi, a drugom udaraju. Sportisti uopšteno imaju tendenciju da na treninzima biraju dominantnu nogu za izvođenje udaraca (Tang et al., 2007). Međutim, isti autor naglašava da su simetrične spretnosti važne za uspeh u elitnom TKD-u. Do sličnih zaključaka je došao i Falco (Falco et al., 2009), koji pretpostavlja da su simetrije važne za vrhunska dostignuća u TKD-u. Takođe, ni sportisti ne pokazuju mehaničke razlike između dominante i nedominantne noge (Falco i sar., 2009). TKD sportisti razvijaju sportski specifične sposobnosti ravnoteže, koje su posledica dugotrajnog prilagođavanja na specifične zahteve sporta u dužem vremenskom periodu (Fong i sar., 2012). Vrhunski taekvondo sportisti ne pokazuju razlike u sposobnostima izvođenja taekvondo udaraca između dominante i nedominantne noge. To bi mogla da bude prednost elitnih sportista u borbama, jer mogu ravnopravno da koriste obe noge, bez ikakvih ograničenja (Young-Kwan & Yoon-Hyuk, 2010). Kontrola ravnoteže može da se definiše

kao sposobnost održavanja ravnoteže u gravitacionom polju uz održavanje ili vraćanje centra telesne mase na površinu oslonca i kao sposobnost kontrole položaja tela u prostoru. Pravilan rad sistema za kontrolu ravnoteže ljudima omogućava da održe uspravan položaj tela i stabilnost tokom različitih pokreta (Watson & Black, 2017). Podsystemi koji omogućavaju senzorni unos za sistem posturalne kontrole su sledeći: somato-senzorni, vestibularni i vidni sistem. Somato-senzorni podsystem obuhvata sve mehanički prihvatljive informacije koje izviru iz periferije i vode do percepcije bola, temperature, dodira i propiocepcije (Riemann i Lephard, 2002). Proprioceptivni sistem vratne kičme je izuzetno dobro razvijen, što se ogleda u brojnosti mehanoreceptora, naročito mišićnih vretena koja se nalaze u dubokim segmentima vratnih mišića. Gusta mreža mehanoreceptora u mekim tkivima tog dela, ne samo da kontroliše slobodu pokreta oko zglobova, nego i što je još važnije, preko neposredne neurofiziološke veze sa vestibularnim i optičkim sistemom CNS obezbeđuje informacije o položaju glave u odnosu na ostale delove tela. Somato-senzorne informacije iz receptora gornjeg dela mišića vratne kičme su jedine koje imaju neposredan pristup osećaju za ravnotežu i vid (Kristjansson & Treleaven, 2009). Ako je vrat u položaju torzije u odnosu na telo, može da dođe do smetnje u ravnoteži. Ta smetnja je verovatno povezana sa manjim dotokom aferentnih informacija iz mišićnih vretena vrata (Kristjansson & Treleaven, 2009). Budući da naše istraživanje nije pokazalo razlike u ravnoteži između stoja sa pogledom napred i stoja sa okretanjem glave, što je specifičan položaj za TKD, može se zaključiti da je reč o prilagođavanju mehanizama ravnoteže na specifična opterećenja u taekvondou.

## Zaključak

Ravnoteža je važna komponenta sportskog uspeha kod taekvondo boraca. Rezultati ove studije ukazuju na značajne razlike u mehanizmima upravljanja ravnotežom pri stoji na jednoj nozi, i to dominantne u odnosu na nedominantnu stajnu nogu. Kako je u praktičnom smislu vežbanja kod taekvondo boraca značajno uspostavljanje pomenutih ravnotežnih položaja, neophodna je potvrda o uspostavljanju mehanizma a u odnosu na primenu specifičnog trenažnog programa koji uključuje mišiće cervikalne regije. Rezultati ovog istraživanja upućuju na to da taekvondo sportisti razvijaju specifična prilagođavanja prilikom kontrole ravnoteže (uspostavljanja mehanizma) u odnosu na stajnu nogu. Međutim, kako ovom studijom nije identifikovana značajna povezanosti u varijabilnosti kinestetičke svesti cervikalne kičme i elemenata ljuljanja tela prilikom stajanja na dominantnoj nozi,

dobijeni rezultati istraživanja upućuju na to da taekvondo sportisti razvijaju specifična prilagođavanja prilikom kontrole ravnoteže kod stajanja na nedominantnoj nozi. Povećana varijabilnost kinestetičke svesti vratne kičme je povezana sa ljuljanjem tela u svim smerovima pri stajanju na nedominantnoj nozi. Preticanje mete prilikom stoja na jednoj nozi bez okretanja glave upućuje na specifične adaptacije vratne muskulature za očuvanje ravnoteže. No, prilikom okreta glave za 90° dolazi do smanjenog dotoka aferentnih informacija, što se manifestuje na parametrima dužine puta i amplitudi kretanja u svim smerovima. Ovaj rezultat ukazuje na to da se može javiti značajnije ljuljanje tela tokom borbe, umanjene stabilnosti, produženo trajanje reakcije i smanjenje brzine kretanja i udarca. Za unapređenje uspešnosti u borbi, preporučuje se poseban trening vratne kičme. Kako je istraživanjem obuhvaćen uzorak u dve takmičarske kategorije, te je evidentna činjenica da je među ispitanicima bilo razlike u takmičarskom i trenažnom stažu, pa i uspehu, od značaja bi bilo ponoviti eksperiment u odnosu na različite starosne kategorije taekvondo boraca, te u odnosu na njihovu sportsku uspešnost.

## LITERATURA

- Boyd-Clark, L. C., Briggs, C. A., & Galea, M. P. (2002). Muscle spindle distribution, morphology, and density in longus colli and multifidus muscles of the cervical spine. *Spine*, 27(7), 694–701. <https://doi.org/10.1097/00007632-200204010-000051>
- Dai, B., Layer, J., Vertz, C., Hinshaw, T., Cook, R., Li, Y., & Sha, Z. (2019). Baseline Assessments of Strength and Balance Performance and Bilateral Asymmetries in Collegiate Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(11), 3015–3029. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002687>
- Falco, C., Alvarez, O., Estevan, I., Molina-Garcia, J., Mugarra, F., & Iradi, A. (2009). Kinetic and kinematic analysis of the dominant and non-dominant kicking leg in the taekwondo roundhouse kick. In A. J. Harrison, R. Andersson, & I. Kenny (Ed.), *Proceedings of the 27th International Symposium on Biomechanics in Sports*, 592-595. Limerick, Ireland: International Society of Biomechanics in Sports.
- Fong, S., Cheung, C., Ip, J., Chiu, J., Lam, K., & Tsang, W. (2012). Sport-specific balance ability in Taekwondo practitioners. *Journal of Human Sport and Exercise*, 7(2), 520-526. <https://doi.org/10.4100/jhse.2012.72.15>
- Kim, J., Kwon, M.-S., Yenuga, S. S., & Kwon, Y.-H. (2010). The effects of target distance on pivot hip, trunk, pelvis, and kicking leg kinematics in Taekwondo roundhouse kicks. *Sports Biomechanics*, 9:2, 98-114. <https://doi.org/10.1080/14763140903300000>

org/10.1080/14763141003799459

Kim, T.-W., Lee, S.-C., Kil, S.-K., Kang, S.-C., Lim, Y.-T., Kim, K.-T., & Panday, S. B. (2017). Kicking modality during erratic-dynamic and static condition effects the muscular co-activation of attacker. *Journal of Sports Sciences*, 35(9), 835–841. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1192672>

Kristjansson, E., & Oddsdottir, G.L. (2010). "The Fly" A new clinical assessment and treatment method for deficits of movement control in the cervical spine: reliability and validity. *Spine*, 35, E1298-1305. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e7fc0a>.

Kristjansson, E., & Treleaven, J. (2009). Sensorimotor function and dizziness in neck pain: implications for assessment and management. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 39(5), 364–377. <https://doi.org/10.2519/jospt.2009.2834>

Paillard, T., & Noé, F. (2020). Does monopodal postural balance differ between the dominant leg and the non-dominant leg? A review. *Human movement science*, 74, 102686. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102686>

Peterson, B. W. (2004). Current approaches and future directions to understanding control of head movement. *Progress in Brain Research*, 143, 369–381. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(03\)43035-5](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(03)43035-5)

Pettorossi, V. E., & Schieppati, M. (2014). Neck proprioception shapes body orientation and perception of motion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 895. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00895>

Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Journal of athletic training*, 37(1), 71–79.

Sarabon, N., Hirsch, K., & Majcen, Z. (2016). The acute effects of hip abductors fatigue on postural balance. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 5(1), 5–9.

Tang, W. T., Chang, J. S. & Nien, Y. H. (2007). The kinematics characteristics of preferred and non-preferred roundhouse kick in elite taekwondo athletes. *Journal of Biomechanics*, 40 (S2), 780.

Wannaprom, N., Treleaven, J., Jull, G., & Uthairakul, S. (2018). Neck muscle vibration produces diverse responses in balance and gait speed between individuals with and without neck pain. *Musculoskeletal Science & Practice*, 35, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2018.02.001>

Watson, M.A., Black, F.O. (2017). The human balance system- a complex coordination of central and peripheral systems. *Vestibular disorders association*. [https://vestibular.org/sites/default/files/page\\_files/Documents/Human%20Balance%20System\\_36.pdf](https://vestibular.org/sites/default/files/page_files/Documents/Human%20Balance%20System_36.pdf)

Williams, K., Tarmizi, A., & Treleaven, J. (2017). Use of neck torsion as a specific test of neck related postural instability. *Musculoskeletal Science & Practice*, 29, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.03.012>

Yoo, S., Park, S. K., Yoon, S., Lim, H. S., & Ryu, J. (2018). Comparison of Proprioceptive Training and Muscular Strength Training to Improve Balance Ability of Taekwondo Poomsae Athletes: A Randomized Controlled Trials. *Journal of sports science & medicine*, 17(3), 445–454.

Young-Kwan, K., & Yoon-Hyuk, K. (2010). Unilateral Performance Comparison for Taekwondo Kicks between Dominant Leg and Non-Dominant Leg. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(2), 1226-2226. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2010.20.2.183>

**Ladislav Mesarič**, Fakultet za sport i psihologiju, Radnička 30a, Novi Sad  
e-mail adresa: ladislav.mesaric@gmail.com

**Romana Romanov**, Fakultet za sport i psihologiju, Radnička 30a, Novi Sad  
e-mail adresa: romana.romanov@tims.edu.rs

**Živa Majcen Rošker**, Faculty of Sport, University of Ljubljana, Gortanova ulica 22, Ljubljana (Slovenia),  
e-mail adresa: ziva.majcen-rosker@fsp.uni-lj.si

**Jernej Rošker**, Faculty of Health Sciences, Univeristy of Primorska, Polje 42, Izola (Slovenia),  
e-mail adresa: jernej.rosker@gmail.com