

# VARIJABILNOST BIOMEHANIČKIH PARAMETARA TROSKOKA - STUDIJA SLUČAJA

Milan Čoh<sup>1</sup> i Otmar Kugovnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultet sporta, Univerzitet Ljubljana, Slovenija

ORIGINALNI NAUČNI ČLANAK

doi: 10.5550/sgia.110702.se.111C

COBISS.BH-ID: 2427672

UDK: 796.4:612.766

## SAŽETAK

Svrha ove studije bila je da se ispita varijabilnost kinematičkih parametara u tehnici troskoka. Analiza je sprovedena na osnovu dva pokušaja atletičarke koja je jedna od najboljih troskokašica na svijetu. Korištena je najnovija biomehnička tehnologija i metodologija mjerenja u troskoku. Opto-track i 3-D kinematička tehnologija korištene su da bi se analizirali parametri modela tehnike u troskoku. Studija je otkrila da se optimalni rezultati u troskoku mogu postići različitim motornim strategijama. Takođe je otkriveno da je motorni stereotip izazvan konstantnim i promenjivim parametrima. Konstantni parametri tog stereotipa bili su: parcijalne distance pojedinačnih faza, trajanje faze odraza, uglovi i vertikalne amplitude BCM pri odrazu. Varijabilnost motornog šablona otkriveni su uglavnom kod sljedećih kinematičkih parametara: brzina u poslednjih 5 metara zaleta, dužina i proporcija posljednja dva koraka zaleta, horizontalna brzina BCM pri odrazu.

**Ključne riječi:** troskok, kinematički, biomehnički parametri, tehnika.

## UVOD

Sa stanovišta biomehanike, troskok je jedna od najkompleksnijih atletskih disciplina i sastoji se od faze ubrzanja i tri uzastopne faze leta. Sam rezultat uglavnom je određen brzinom zaleta i optimalnim odnosom razmaka između tri faze leta (Hay, 1992; Hay i Miller, 1985; Grahman-Smith i Lees, 1994; Miladinov i Bonov, 2004). Svaki od ovih sastavnih dijelova predstavlja specifičan motorički zadatak sa određenim karakteristikama koje sportista mora da ostvari kako bi izveo uspješan troskok. Prema nekim prethodnim studijama (Conrad i Ritzdorf, 1990; Grahman-Smith i Lees, 1994; Hay, 1999; Jurgens, 1998; Panoutsakopoulos i Kollias, 2008), očuvanje optimalne horizontalne brzine faze poskoka, koraka i skoka je ključni faktor za postizanje maksimalne dužine troskoka. Kritičan momenat u troskoku jeste prelazak iz poskoka u fazu koraka. Sa aspekta strukture motoričkog obrasca, troskok se može posmatrati kao spajanje cikličnih i acikličnih pokreta. Efikasna transformacija brzine zaleta u odraz za fazu leta povezan je sa pravilnim ritmom kao i sa vizuelnom i kinestetičkom kontrolom (Hay, 1999; Kyrolainen, Komi, Virmavirta i Isolehto, 2007; Yu i Hay, 1996). Prva faza (poskok) je najduža i

predstavlja 36–39% ukupne udaljenosti sve tri faze (Grahman-Smith i Lees, 1994; Kyrolainen i saradnici, 2007; Panoutsakopoulos i Kollias, 2008). Iz tog razloga efikasno izvođenje faze poskoka predstavlja ključni element za izvršenje sljedeće dvije faze (korak i skok) i samim tim cijelog troskoka. Odnos dužina ove tri faze zavisi od nekoliko motoričkih strategija i za muške i za ženske troskokaše. Poznate su tri tehnike troskoka: »Hop Dominated«, »Hop Jump« i »Balanced« tehnika (Panoutsakopoulos i Kollias, 2008). U prvoj (hop dominated) tehnici akcenat je stavljen na dužinu prve faze (poskok), u drugoj tehnici naglašena je dužina posljednje faze, dok je u trećoj tehnici naglašena ravnoteža između dužina u sve tri faze. Dužine i proporcija različitih faza definisana je izvođenjem faze oslonca na tlo i faze leta. Promjena horizontalne brzine najviše je povezana sa efikasnom tehnikom odraza. Optimalan odnos horizontalnih i vertikalnih komponenata brzine težišta tijela (body center of mass - BCM) u fazi oslonca na podlogu veoma je važan. Da bi ostvario efikasan troskok sportista bi trebao da održava što je moguće veću horizontalnu a u isto vrijeme adekvatnu vertikalnu brzinu. Povećanje horizontalne brzine rezultira smanjenjem vertikalne, i obrnuto.

Čini se da je konačan rezultat u troskoku proizvod nekoliko različitih tehnika i drugih faktora, kao i njihovog uzajamnog odnosa. Bernštajnova teorija (Latash, 1994) definiše sportsku tehniku kao usklađen proces sa kompenzatornim i samo-regulativnim karakteristikama. Sportista ne može kontrolisati sve faze motoričkog procesa, iako je motorički stereotip standardizovan i automatizovan (Schmidh i Lee, 1999). Da bi mozotički stereotip bio ispravan i racionalan, njegovi pojedinačni elementi moraju biti koordinisani na način da neki od njih poštuju principe paralelnog a drugi principe uzastopnog izvršenja. Optimalna koordinacija motoričkog stereotipa moguća je samo ukoliko je programirana. Sportista posjeduje programe i pod-programe u primarnom motoričkom centru centralnog nervnog sistema; oni su ili trajni ili stečeni u zavisnosti od spoljašnjih i unutrašnjih faktora (Enoka, 1998). Pokret ne može biti pravilno izveden bez postojanja odgovarajućeg programa.

Naravno, tehnika kod vrhunskih sportista nije nikada apsolutna. Svaki sportista neprestano usavršava svoju tehniku i prilagođava je brojnim spoljašnjim i unutrašnjim faktorima. Osnovni elementi tehnike su stabilni; međutim, neki prilagodljivi se mijenjaju. Potpuna stabilizacija tehnike nije moguća zbog raznih endogenih (mentalni status, sportska forma, pritisak, takmičarski stres) i egzogenih faktora (mikro-klimatski uslovi: vjetar, spoljna temperatura, nadmorska visina; sportska infrastruktura: različita vrsta i elastičnost podloge).

Prema Bernštajnovoj teoriji (Latash, 1994) postoje dva programa za rješavanje motoričkog stereotipa u uslovima visokog stepena stabilizacije pokreta. Prema prvoj strategiji moguće je stvoriti motorički stereotip time što će se tehnički parametri održavati stabilnim. Druga strategija bazirana je na stabilnosti jednih a varijabilnosti drugih tehničkih parametara. Cilj ove studije jeste da se ispita stabilnost i varijabilnost parametara u tehnici troskoka kod vrhunskih ženskih atletičarki međunarodnog nivoa. Analiza je uključila dva najbolje ostvarena troskoka (pokušaj A i pokušaj B). Zvanična dužina pokušaja A bila je 13,68 m sa efektivnom distancom od 13,85 m (udaljenost prstiju od daske = 0,17 m). Zvanična dužina drugog pokušaja bila je 13,63 m a efektivna dužina 13,66 m (udaljenost prstiju od daske = 0,03 m). Razlika u efektivnoj dužini između dva pokušaja bila je 0,19 m.

## METODE

Ispitanik je bila jedna od najboljih svjetskih troskašica, M. Š. (starost 28 godina, visina 172 cm, težina 66,5 kg, lični rekord u troskoku 15,03 m, 6. mesto na

Olimpijskim igrama 2008. godine) – Slika 1. Ispitanik je imao mogućnost na šest pokušaja, a dva najduža skoka su uključena u studiju. Mjerenja su provedena u pripremnoj fazi prije Olimpijskih igara 2008. godine u Peking. Korištena je *opto-track* tehnologija italijanskog proizvođača Microgate za mjerenje distanci između različitih faza, za mjerenje vremena oslonca na podlogu i leta u fazi zaleta, kao i u fazama poskoka, koraka i skoka. Osnovne komponente mjernog sistema bile su povezane šipke (100 cm x 4 cm x 3 cm) sa ugrađenim optičkim sensorima i kompjuterskim programom za registrovanje i analizu podataka. Svaka šipka ima 32 senzora – foto ćelije, sa 4 cm razmaka između njih a koji su postavljeni 0,2 cm iznad podloge. Ukupna dužina povezanih šipki je 20 metara. Šipke mjernog sistema postavljene su na obje strane staze (širina = 1,22 m). Sistem infracrvenih foto-ćelija (*Brower* – Sistem za mjerenje vremena) korišten je za mjerenje ubrzanja (11-6 m, 6-1 m). Kinematička analiza sprovedena je korištenjem snimki napravljenih uz pomoć četiri video kamere (*Sony DVCAM DSR-300 PK*) sa frekvencijom od 50 Hz i definicijom od 720 x 576 piksela, koje su bile postavljene na ugao 90° optičke ose. Prve dvije kamere pokrivala su posljednja dva koraka faze zaleta i fazu poskoka, dok su ostale dvije kamere snimale faze koraka i skoka. Da bi se postigla bolja preciznost i u svrhu biomehaničke analize akcije odraza u fazi poskoka i koraka, korištene su dvije high-speed digitalne kamere *Mikrton Motion Blitz Cube ECO-1* i *Digitalni rekorder za analizu pokreta*. Kamere su mogle snimiti 6 sekundi pokreta sa frekvencijom od 100 slika u sekundi i definicijom od 640 x 512 piksela; međutim, za ovo istraživanje odabrana je frekvencija od 500 slika u sekundi. Analizirani dio posljednja dva koraka zaleta i tri faze troskoka (poskok, korak i skok) kalibrirani su odgovarajućim mjernim okvirom dimenzija 1 m x 1 m x 2 m, uzimajući u obzir osam referentnih uglova (Slika 2). Dužina analiziranih pokreta definisana je X osom, visina Y osom a dubina Z osom. Za izračunavanje kinematičkih parametara tehnike korištena je 3-D softverska oprema *APAS* (Ariel Dynamics Inc., San Diego, Ca) (Slika 3). Izvršena je digitalizacija 15-segmentnog modela tijela sportiste; model je definisan sa 18 referentnih tačaka (Dempster, citiran kod Miller i Nelson, 1973). Koordinate tačaka poravnate (usklađene) su digitalnim Buterworth filterom 7-og stepena. Za statističku obradu podataka korišten je softverski paket SPSS.

**SLIKA 1**

*Marija Šestak je jedna od najboljih troskokašica na svijetu a sa troskokom dužine 15.03 metra osvojila je 6. mjesto na Olimpijskim igrama u Pekingu 2008. godine*

**REZULTATI**

Optimalna brzina, dobra vizuelna kontrola i dobro strukturiran zalet u posljednja tri koraka su osnove za dobar rezultat u troskoku. Prema Tabeli 1 može se vidjeti da je ispitanik ostvario identičnu brzinu ( $6,94 \text{ ms}^{-1}$ ) u zoni 11–6 metara prije odskočne daske u oba pokušaja. Brzina se drastično razlikovala u zoni 6–1 metra. Naime, u pokušaju B ispitanik je postigao brzinu veću nego u pokušaju A za  $0,57 \text{ ms}^{-1}$ . Struktura zaleta u posljednja dva koraka (1L i 2L) takođe se značajno razlikovala i po dužini i po brzini koraka. U oba pokušaja pretposljednji korak bio je malo duži nego posljednji. Tendencija ka dužem posljednjem koraku primjećena je takođe i kod drugih vrhunskih troskokašica. Dužina posljednjeg koraka povezana je sa efikasnom transformacijom horizontalne u vertikalnu brzinu, što osigurava potrebnu visinu trajektorije težišta tijela (BCM) u prvoj (POSKOK) fazi.

**DISKUSIJA**

Prema ukupnim i relativnim dužinama pojedinačnih faza, ispitanik je tipični predstavnik »Hop-Dominated« tehnike sa djelimično naglašenom posljednjom (*skok*) fazom. Odnos parcijalnih distanci pojedinačnih faza (*poskok-korak-skok*) nije se značajno razlikovao po pokušajima. U pokušaju A distanca prve faze (*poskok*) bila je 4,73 m (34,6%), druge faze (*korak*) 4,01 m (29,3%) i treće faze (*skok*) 4,94 m (36,1%). Očigledno je da je motorička strategija ispitanika u ovoj fazi veoma stabilna. Kyrolainen i saradnici (2009) ustanovili su da je proporcija između različitih pojedinačnih faza atletičarki na Svetskom prvenstvu 2005. u Helsinkiju iznosila 36,2% : 29,4% : 34,5%. »Hop-Dominated« tehnika je najčešća među troskokašima i troskokašicama. Karakteristike predstavnika »Hop-Dominated« tehnike jeste velika horizontalna brzina koja se razvija u fazama zaleta i prvog odraza. Karakteristika ispitanika M. Š. jeste da ima veći potencijal

u elastičnoj snazi nego u brzini, koja se prije koristila uglavnom u drugoj i trećoj fazi troskoka. Na pojedinačne dužine faza i njihov odnos utiču morfološke karakteristike, bio-motoričke sposobnosti, koordinacija, vizuelna percepcija i sposobnost sportiste da kontroliše pokrete (Latash, 1994; McGinnis, 1999; Schmidh i Lee, 1999; Winter, 1990). Iz tog razloga optimalan odnos dužina pojedinačnih faza posebno zavisi od pojedinca (Hay, 1992).

Kod posmatranog ispitanika dužine pojedinačnih faza su u velikoj korelaciji sa trajanjem faze oslonca na podlogu i fazom leta. U pokušaju A, trajanje oslonca na podlogu u fazi *poskoka* bilo je 0,11 sekundi, u fazi *koraka* 0,15 sekundi i u fazi *skoka* 0,16 sekundi. Vrijeme oslonca povećavalo se sa smanjenjem horizontalne brzine težišta tijela (Slika 4). Atletičarka M. Š. pomalo se razlikuje od ostalih vrhunskih troskokašica po vremenu trajanja oslonca na podlogu (Kyrolainen i sardnici, 2009) u posljednjim fazama odraza i leta kod *skok* faze. Posljednja faza (*skok*) je po svojoj kinematičkoj strukturi sličnija skoku u dalj. Pojedinačni doprinos *skok* faze konačnom rezultatu u troskoku dostiže visokih 36,1%. U posljednjoj fazi takođe je primjećena visoka vrijednost odraznog ugla (27,70). Kinematički parametri u pokušaju B bili su gotovo identični u trajanju faza oslonca na podlogu i leta, kao i po pitanju odraznih uglova (*poskok*, *korak* i *skok*).

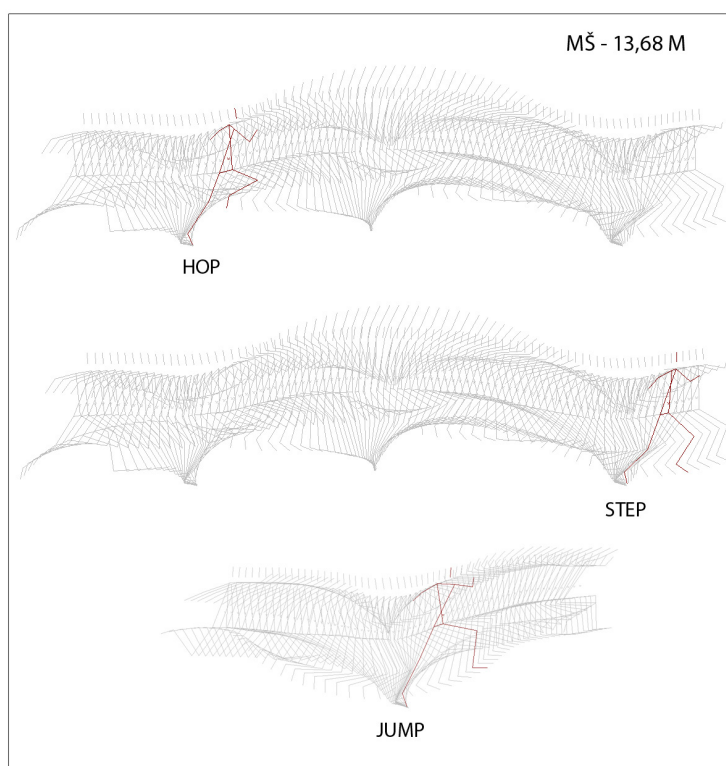
Vrijednost odraznih uglova u posljednjoj (*skok*) fazi značajno se razlikovala od onih u prethodnim studijama (Kyrolainen i saradnici, 2009; Mendoza i Nixdorf, 2010; Panoutsakopoulos i Kollias, 2008). Veliki odrazni ugao rezultirao je velikom trajektorijom težišta tijela što se pokazalo u trajanju posljednje faze leta kod *skoka* (0,65 – 0,66 s).

Nesumnjivo, horizontalna brzina u pojedinim fazama odraza je ključni generator uspjeha u ovoj atletskoj disciplini. Što je manji pad horizontalne brzine, bolji je konačan rezultat. Ispitanik je ostvario najveću horizontalnu brzinu u posljednjem koraku (L1) u oba pokušaja, A (8,35 ms<sup>-1</sup>) i B (8,41 ms<sup>-1</sup>). Smanjenje horizontalne brzine na kraju akcije odraza u *poskoku* iznosilo je do -0,47 ms<sup>-1</sup> ili 5,6% u pokušaju A, i -0,48 ms<sup>-1</sup> ili 5,7% u pokušaju B. U akciji odraza *korak* faze horizontalna brzina smanjila se za 7,3% u pokušaju A, dok se u pokušaju B smanjila za 10,9%. U *skok* fazi smanjenje horizontalne brzine u odnosu na prethodnu akciju odraza dostiglo je 19,8% u pokušaju A, i 15,0% u pokušaju B. Razlika u horizontalnoj brzini težišta tijela mogla se primjetiti samo u akciji odraza *korak* faze, koja se manifestovala u nešto kraćoj pojedinačnoj distanci ove faze u pokušaju B.

Smanjenje horizontalne brzine je rezultat obezbjeđivanja optimalnog vektora vertikalne brzine.

## SLIKA 2

3D kinematičke analize troskoka



**TABELA 1**

*Variabilnost kinematičkih parametara u tehnici troskoka*

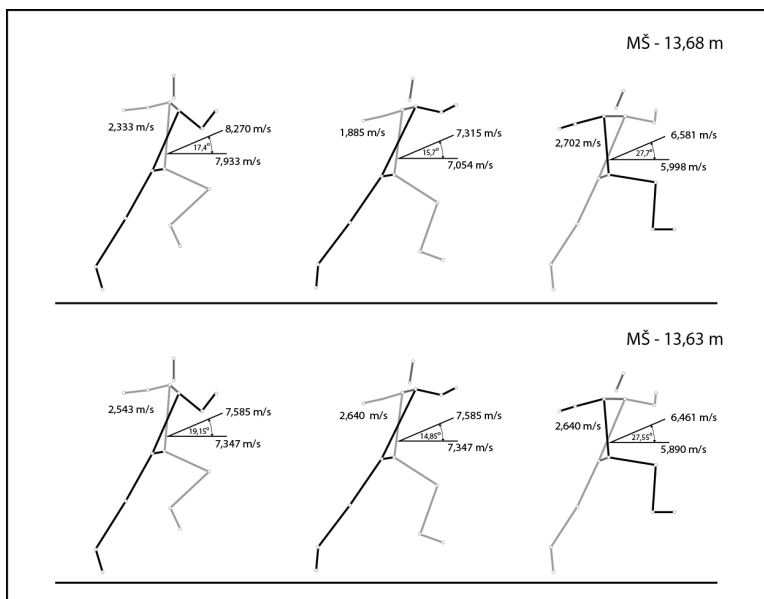
Parametri	Faze	Pokušaj A	Pokušaj B
Rezultat (m)		13,68	13,63
Efektivno rastojanje (m)		13,85	13,66
Zalet - Brzina (ms <sup>-1</sup> )	11 - 6	6,94	6,94
	6 - 1	8,20	8,77
Zalet - Dužina koraka (m)	2L	2,20	2,17
	1L	2,30	2,18
Zalet - Brzina (ms <sup>-1</sup> )	2L	8,25	8,40
	1L	8,35	8,41
	Poskok	4,73	4,73
Dužina koraka (m)	Korak	4,01	3,92
	Skok	4,94	4,98
	Poskok	34,60	34,70
Relativna distanca (%)	Korak	29,30	28,80
	Skok	36,10	36,50
	Poskok	7,88	7,93
Horizontalna brzina (ms <sup>-1</sup> )	Korak	7,35	7,06
	Skok	5,89	6,00
	Poskok	-0,47	-0,48
Gubitak horizontalne brzina (ms <sup>-1</sup> )	Korak	-0,53	-0,87
	Skok	-1,46	-1,06
	Poskok	2,54	2,33
Vertikalna brzina (ms <sup>-1</sup> )	Korak	1,86	1,88
	Skok	2,64	2,70
	Poskok	0,11	0,12
Trajanje faze podrške (s)	Korak	0,15	0,15
	Skok	0,16	0,17
	Poskok	0,48	0,48
Trajanje faze leta (s)	Korak	0,39	0,39
	Skok	0,65	0,66
	Poskok	19,20	17,40
Ugao odraza (°)	Korak	14,90	15,70
	Skok	27,50	27,70
	Poskok	1,06	1,07
Maksimalna visina C.C (m)	Korak	1,06	1,08
	Skok	1,15	1,15
	Poskok	0,90	0,89
Minimalna visina C.C (m)	Korak	0,90	0,91
	Skok	0,91	0,90

Vertikalna brzina je najveća u prvoj (*poskok*) i poslednjoj (*skok*) fazi oba analizirana pokušaja. Najmanja vertikalna brzina je zabilježena u *korak* fazi (A = 1,86 ms<sup>-1</sup>, B = 1,88 ms<sup>-1</sup>). Osnovna strategija ispitanika je da se sačuva što je moguće veća horizontalna dok se ostvaruje optimalna vertikalna brzina (Slika 5). Vrijednost vertikalne brzine je u korelaciji sa odraznim

uglom, koji je takođe bio najveći u prvoj i trećoj fazi troskoka. Studija Kyrolainen i saradnici (2009) je pokazala sljedeće prosječne vrijednosti odraznih uglova finalista na Svjetskom prvenstvu u atletici, Helsinki 2005: *poskok* = 15,50, *korak* = 11,40 i *skok* = 21,40. U poređenju, značajno veće vrijednosti ovih uglova primjećene su kod ispitanika u ovom radu.

**SLIKA 3**

*Kinematika faze tehnike POSKOK-KORAK-SKOK*



Motorički stereotip troskoka ispitanika je .u većoj mjeri naglasio visinu pojedinačnih faza, koja se odnosila na manju horizontalnu brzinu ispitanika. Niže putanje leta su obično karakteristika ženskih i muških troskokaša sa većom osnovnom brzine (Hay, 1992; Kreyer, 1993; Panoutsakopoulos i Kollias, 2008).

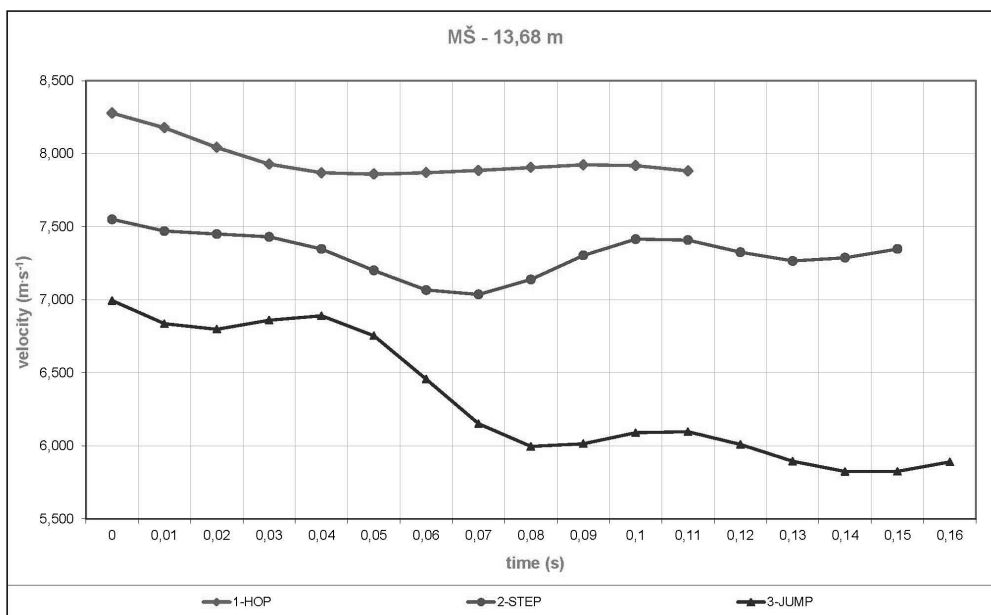
Sa biomehaničke tačke gledišta troskoka, motorički obrazac individualne akcije odraza značajno se razlikovao u trajanju oslonca na podlogu, horizontalne brzine, odraznog ugla i vertikalne amplitude kretanja težišta tijela. Međutim, pored kinematičkih parametara, neuromišićni mehanizmi razvoja reakcione

sile podloge su još važniji za efikasnost akcije odraza (Kyrolainen i saradnici, 2009).

Akcije odraza u troskoku su najtipičnije motoričke radnje, kada se zahtijeva oslobađanje reakcione sile podloge u kombinaciji sa ekscentričnim i koncentričnim mišićnim kontrakcijama (Gollhofer i Kyrolainen, 1991; Komi 2000; Kyrolainen i saradnici, 2009). Sa tačke gledišta motoričkih strategija i struktura, akcija odraza razlikuje se, kako u trajanju, tako i u kinematičkim i dinamičkim parametrima. Prema trajanju oslonca na podlogu, najkraće vrijeme odraza primjećeno je kod odraza u prvoj – *poskok* – fazi (0,12

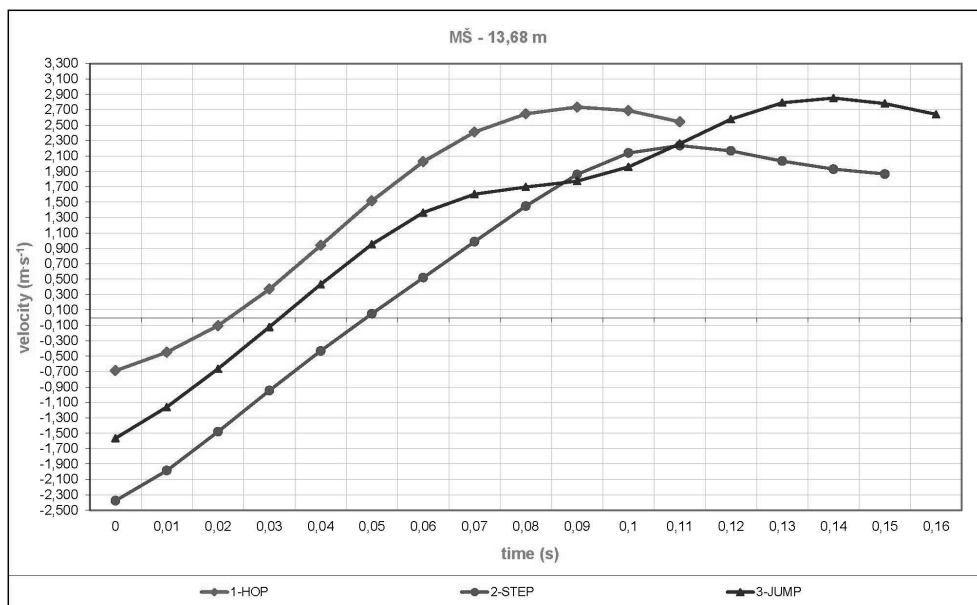
**SLIKA 4**

*Horizontalna brzina BCM i trajanje faze oslonca na podlogu – M. Š: 13,68 m*



**SLIKA 5**

Vertikalna brzina BCM i trajanje faze oslonca na podlogu - M. Š: 13,68 m



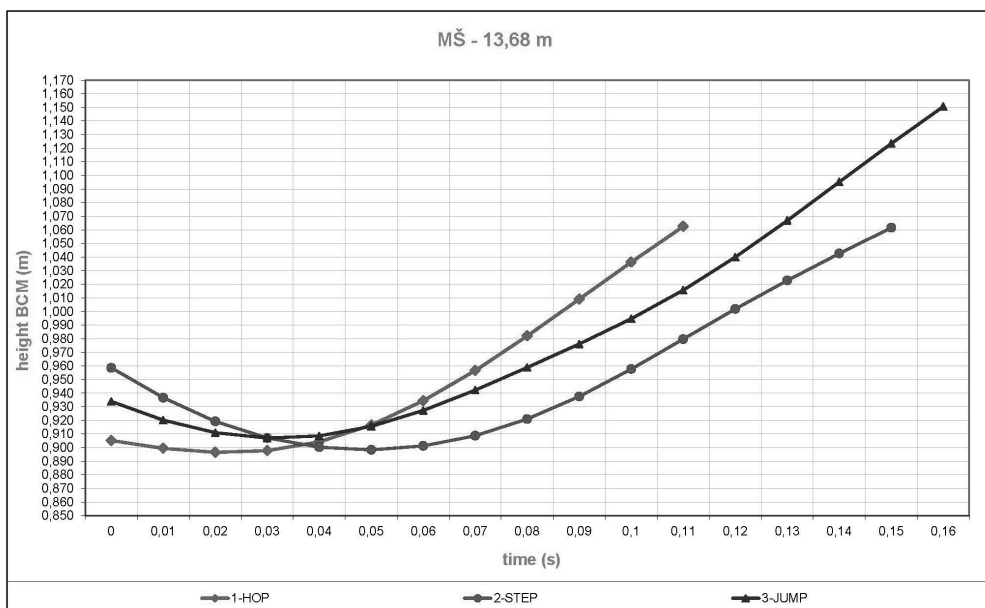
s) a najduže kod odraza u posljednjoj – *skoek* – fazi (0,18 s). Ekscentrično – koncentrični ciklus u akciji odraza rezultat je istezanja mišića pod uticajem spoljašnje sile i skraćenja mišića u drugoj fazi (SSC: stretch – shortening cycle), (Komi, 2000; Komi i Gollhofer, 1997; Nicol, Avela i Komi, 2006). U ekscentričnoj fazi određena količina elastične energije skladišti se u mišićno-tetivnom kompleksu i kasnije se može koristiti u drugoj fazi. Dio elastične energije akumulirane u mišiću dostupan je samo određeno vrijeme. Ovo vrijeme određeno je trajanjem, ili bolje rečeno postojanjem vezivnih mostića u mišićima, i traje između 30 i 140 milisekundi (Cavagna, 1977; Enoka, 2003). Sa

gledišta oslobađanja sile veoma je važno da mišić u ekscentričnoj kontrakciji razvije što je moguće veću silu i koristi manje hemijske energije nego u koncentričnoj kontrakciji (Enoka, 1998; Enoka, 2003; Komi i Gollhofer, 1997).

Vrijeme tog prebacivanja (zamjene) takođe utiče na efikasnost ekscentrično-koncentrične kontrakcije. Što duže traje prebacivanje između dvije vrste kontrakcije, kontrakcija je manje efikasna. Trajanje transformacije iz ekscentričnih na koncentrične kontrakcije je u korelaciji sa amortizacionim uglom u koljenu odrazne noge (Slika 6). Kod ispitanika se mogu primjetiti male oscilacije težišta tijela u vertikalnoj osi,

**SLIKA 6**

Vina centra tjelesne mase (BCM) i trajanje faze oslonca na podlogu - M. Š: 13,68 m



ukazujući na malu amplitudu ugla u koljenu sa maksimalnom amortizacijom u akciji odraza. Varijacija visine težišta tijela u prve dvije faze je 16 cm, a razlika između najviše i najniže tačke težišta tijela u odrazu za *skok* je 24 cm u vertikalnoj osi. Pored veličine i brzine promjene dužine mišića i trajanja zamjene, pre-aktivacija je takođe veoma važna za efikasnost ekscentrično-koncentrične kontrakcije (Enoka, 2003; Gollhofer i Kyrolainen, 1991; Komi, 2000). Pre-aktivacija definiše prvi kontakt stopala sa površinom. Ispitanica M. Š. stavlja nogu izuzetno aktivno u pravcu dolje i unazad. Odgovarajuća pre-aktivacija priprema mišiće za ekstenziju i manifestuje se u broju združenih mišićnih mostića i promjeni ekscitacija  $\alpha$ -motornih neurona (Enoka, 2003). Oba faktora utiču na veću kratkotrajnu krutost. Ako je kratkotrajna krutost veća, produženje ligamenata i tetiva je izraženije, što rezultira manjom potrošnjom hemijske energije u mišićima (Cavagna, 1977; Enoka, 2003; Komi, 2000; Komi i Gollhofer, 1997). Manja potrošnja hemijske energije je posebno važna u onim motoričkim situacijama gdje se određeni pokret mora izvesti velikom brzinom, a troskok je jedan od najtipičnijih primjera takvih pokreta.

## ZAKLJUČAK

Rezultat u troskoku, koji predstavlja složenu atletsku disciplinu, zavisi od kombinacije brzine, snage, tehnike, vizuelne i kinestetičke kontrole kretanja. Optimalna integracija cikličnih i acikličnih pokreta obezbjeđuje maksimalnu efikasnost motornog stereotipa. Međutim, motorni stereotip nije uvijek stabilan. Neki tehnički elementi modela su stabilni, dok drugi variraju. Uz korišćenje 3-D biomehničke analize dva pokušaja troskoka, mogu biti izvedeni sljedeći zaključci:

- brzina zaleta u posljednjih pet metara (6-1 m) značajno varira,
- udaljenost i odnos posljednja dva koraka zaleta variraju, i vizuelna kontrola sportiste nije bila optimalna,
- kinematička struktura zaleta otkrila je tendenciju dužeg posljednjeg i kraćeg preposljednjeg koraka,
- brzina posljednja dva koraka (L2 + L1) je različita,
- sportista je postigao najveću ukupnu brzinu zaleta u posljednjem koraku,
- parcijalne distance troskok faza (poskok-korak-skok) su relativno stabilne sa najvećim variranjem kod *koraka*,

- u oba pokušaja sportista koristi strategiju oćuvanja horizontalne brzine uz naglašenu udaljenost posljednje faze,
- dobra veza pojedinih faza je rezultat optimalne kinestetičke kontrole i dinamičke ravnoteže,
- model trajanja oslonca i leta u fazama poskoka, koraka i skoka ukazuju na tendenciju visoke stabilnosti,
- horizontalna brzina varira u pojedinaćnim odraznim akcijama sa najvećom razlikom primjećenom u fazi koraka,
- određeno smanjenje horizontalne brzine u akciji odraza *skok* faze je rezultat naglašenog povećanja vertikalne brzine, koja obezbjeđuje optimalnu visinu trajektorije leta u posljednjoj fazi.

## LITERATURA

- Cavagna, G. (1977). Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exercise and Sport Science Reviews*, 5, 89–129.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1990). *Scientific Research Project at the Games of the XXIVth Olympiad – Seoul 1988: final report*. International Athletic Foundation, International Amateur Athletic Federation.
- Enoka, R. (1998). *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. Champaign IL: Human Kinetics
- Enoka, R. (2003). *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Gollhofer, A., & Kyrolainen, H. (1991). Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 34–40.
- Grahman-Smith, P., & Lees, A. (1994). British triple jumpers 1993: approach speeds, phase distances and phase ratios. *Athletic Coach*, 28, 5–12.
- Hay, J. G. (1992) The biomechanics of the triple jump: a review. *Journal of Sport Science*, 10(4), 343–378.
- Hay, J. G. (1999). The takeoff in the long jump and other running jumps. In R. H. Sanders and B. J. Gibson (Eds.), 17 International Symposium on Biomechanic in Sports (pp. 3–14). Retrieved from <http://www.w4ub.uni-konstanz.de/epa/Issue/view/ISBS 1999>.
- Hay, J. G., & Miller, J. (1985). Techniques used in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 185–196.



- Jurgens, A. (1996). Biomechanical investigation of the transition between the hop and step. *New Studies in Athletics*, 4, 29–39.
- Komi, P. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal Of Biomechanics*, 33(10), 1197–2006.
- Komi, P., & Gollhofer (1997). Stretch reflexes can have an important role in force enhancement SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13, 451–460.
- Kyrolainen, H., Komi, P., Virnavirta, M., & Isolehto, J. (2009). *Biomechanical Analysis of the Triple Jump*. New Studies in Athletics (supplement), 57–64.
- Krejer, V. (1993). About the female triple jump. *Modern Athlete and Coach*, 31, 13–17.
- Latash, M. (1994). *Control of Human movement. Human Kinetics*. Publishers. Champaign, Illinois
- McGinnis, P. (1999). *Biomechanics of Sport and Exercise*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Mendoza, L., & Nixdorf, E. (2010). *Scientific Research Project Biomechanical Analysis at the Berlin 2009*. Retrieved from <http://www.osp-hessen.de>.
- Miladinov, O., & Bonov, P. (2004). Individual approach in improving the technique of triple jump for women. *New Studies in Athletics*, 4, 27–36.
- Miller, D. I., & Nelson, R. C. (1973). *Biomechanics of sport: A Research Approach*. Philadelphia: Lea &Febiger.
- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P. (2006). The Stretch-Shortening Cycle. *Sports Medicine*. 36(11), 977–999.
- Panoutsakopoulos, & V., Kollias, I. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 4, 53–61.
- Schmidh, R., & Lee, T. (1999). *Motor Control and Learning: A behavioral Emphasis*. Champaign IL: Human Kinetics
- Winter, D. (1990) *Biomechanical and motor control of human movement* (2nd ed.). Toronto, Canada: John Willey & Sons Inc.
- Yu, B., & Hay, G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283–1289.

Priljeno: 11. novembra 2011. godine  
Izmjene priljene: 7. decembra, 2011. godine  
Odobreno: 19. decembra, 2011. godine

Korespondencija:  
Prof. dr Milan Čoh  
Fakulteta za šport  
Gortanova 22  
10000 Ljubljana  
Slovenija  
E-mail: Milan.Coh@fsp.uni-lj.si  
Telefon: 00386 41 72 93 56