



Milan Čoh

Biodinamična analiza pliometričnih skokov skakalk troskoka

Izvleček

Namen študije je bila biodinamična analiza kinematičnih in dinamičnih parametrov pri dveh modalitetah globinskih skokov (**drop jumps**) z višine 25 cm in 45 cm. V vzorec merencev so bile vključene 4 elitne skakalke troskoka. Njihovi najboljši rezultati v troskoku so variirali v razponu od 13.33 m do 15.06 m. Dinamične in kinematične parametre smo izmerili z bipedalno pritiskovno ploščo (**force plate**), ki je bila sinhronizirana z devetimi CCD kamerami. Pri globinskem skoku 25 cm so atletinje dosegle višino skoka 43.37 ± 5.39 cm, sila reakcije podlage je znašala 2770 ± 411 N, pri globinskem skoku 45 cm je bil rezultat višine skoka 45.22 ± 4.65 cm ob sili reakcije podlage 2947 ± 366 N. Vertikalna hitrost odriava pri globinskem skoku 25 cm je bila 2.77 ± 0.19 m.s⁻¹, pri globinskem skoku 45 cm pa 2.86 ± 0.15 m.s⁻¹. Na osnovi inverzne mehanike smo ugotovili največjo sklepno moč glede na telesno težo v segmentu kolenskega sklepa. Študija je pokazala, da globinski skoki z višine 45 cm zagotavljajo najboljše efekte razvoja odzivne moči v pogojih ekscentrično koncentričnih kontrakcij.

Ključne besede: atletika, pliometrija, pritiskovna plošča.



<http://www.zimbio.com/pictures/>

Biodynamic analysis of the plyometric jumps of triple jumpers

Abstract

The purpose of the study was to perform a biodynamic analysis of kinematic and dynamic parameters in two modalities of drop jumps from 25 cm and 45 cm. The sample of subjects included four elite female triple jumpers. Their best results in triple jump ranged from 13.33 m to 15.06 m. Dynamic and kinematic parameters were measured using a bipedal force plate which was synchronised with 9 CCD cameras. The athletes' result for the drop jump from 25 cm was 43.37 ± 5.39 cm and the ground reaction force 2770 ± 411 N, whereas the result for the drop jump from 45 cm was 45.22 ± 4.65 cm, with the ground reaction force equalling 2947 ± 366 N. The vertical speed of the take-off in the drop jump from 25 cm was 2.77 ± 0.19 m.s⁻¹, and in the drop jump from 45 cm 2.86 ± 0.15 m.s⁻¹. Based on inverse mechanics, we established the highest joint strength/body mass ratio in the segment of the knee joint. The study showed that drop jumps from 45 cm ensure the best effects in terms of the development of take-off power in the conditions of eccentric-concentric contractions.

Key words: athletics, plyometrics, force plate

■ Uvod

Rezultat v troskoku je je definiran s hitrostjo zaleta in optimalnim razmerjem posameznih dolžin skokov. Vsak od parcialnih skokov predstavlja specifično motorično nalogo z določenimi karakteristikami, ki jih mora skakalka realizirati za uspešno izvedbo troskoka. Glede na nekatere dosedanje študij (Hay, 1992; Perttunen idr., 2000; Panoutsakopoulos in Kollias, 2008) je ohranjanje optimalne horizontalne hitrosti v fazi skoka (*hop*), koraka (*step*) in doskoka (*jump*) najpomembnejši faktor maksimalne dolžine troskoka. Kritična točka je prehod iz faze skoka (*hop*) v fazo koraka (*step*). Učinkovita transformacija zaletne hitrosti v odziv (*hop*) je povezana z pravilnim ritmom ter vizualno in kinestetično kontrolo (Yu in Hay, 1996; Hay, 1992; Kyrolainen idr., 2007). Razmerje dolžin skokov je odvisno od različnih gibalnih strategij skakalcev in skakalk. Eksistirajo tri tehnike troskoka: »Hop dominated«, »Hop jump« in »Balanced technique«. Pri prvem tipu tehnike je poudarjena dolžina prvega skoka, pri drugem tipu dolžina zadnjega skoka in pri tretjem tipu je uravnotežena dolžina skokov. Dolžine in razmerja skokov so definirani z izvedbo kontaktnih in letnih faz. Tranzicija horizontalne hitrosti je povezana prav z učinkovito tehniko odzivne akcije. V posameznih odzivih se pojavljajo ekstremno visoke vrednosti sile reakcije podlage. Perttunen idr. (2000) ugotavljajo, da pri skakalcih troskoka znaša maksimalna vertikalna sila reakcije podlage v fazi skoka »hop« 7945 N, v fazi skoka »step« 10624 N in v fazi skoka »jump« 9056 N. Z vidika neuro mišičnega sistema so to obremenitve, ki presegajo velikosti 15-kratne telesne teže atleta. Poleg velikosti sile reakcije podlage je pomemben kontaktni čas posameznih odzivov. Študije (Perttunen idr., 2000; Panoutsakopoulos in Kollias, 2008; Kyrolainen idr., 2009) kažejo, da znaša kontaktni čas prvega odziva (*hop*) od 0.120 s do 0.139 s, drugega odziva (*step*) od 0.150 s do 0.157 s in tretjega odziva (*jump*) od 0.177 s do 0.185 s.

Glede na biomehanske in neuromišične zakonitosti troskoka je eno od ključnih vprašanj diagnosticiranje področja moči skakalcev in skakalk troskoka. Glede na rezultate nekaterih študij (Bosco idr., 1995; Zatsiorsky, 1995; Komi, 2000) so dober pokazatelj specialne odzivne moči globinski skoki (*drop jumps*) z različnih začetnih višin. V našem eksperimentalnem postopku smo uporabili skoke z višine 25 cm in 45 cm. Pri obeh skokih je prisotna ekscentrično-koncentrična neuromišična modulacija. Ekscentrično-koncentrični ciklus je posledica raztezanja zaradi zunanje sile in skrajševanja mišice v drugi fazi (SSC: *stretch – shortening cycle*, Komi in Gollhofer, 1997; Nicol idr., 2006). V ekscentrični fazi se v mišično-tetivnem kompleksu shrani določena količina elastične energije, ki jo je možno uporabiti v drugi fazi. Del elastične energije, ki je akumuliran v mišici, je na voljo samo določen čas. Na učinkovitost ekscentrično-koncentrične kontrakcije vpliva tudi čas preklopa. Daljši, kot je, manjša je učinkovitost kontrakcije. Poleg velikosti in hitrosti spremembe dolžine mišice ter časa preklopa je za učinkovitost ekscentrično-koncentrične kontrakcije zelo pomembna predaktivacija (Nicol idr., 2006). Ta definira prvi kontakt stopala s podlago in se manifestira zlasti pri sprintu ter horizontalnih in globinskih skokih. Predaktivacija ustrezno pripravi mišice na raztezanje in se manifestira v številu sklenjenih prečnih mostičev in spremembi vzdraženosti α -motoričnih živcev. Oba dejavnika vplivata na večjo togost mišice (ang. *short range stiffness*). Pri večji togosti mišice je manj izrazito raztezanje vezi in tetive, kar ima za posledico boljšo integracijo kemične in elastične energije v mišici (Komi in Gollhofer, 1997; Bobbert in van Soest, 2000; Komi in Nicol, 2000; Nicol idr., 2006). To pa pomeni večjo produkcijo mišične sile.

Namen naše študije je bil na vzorcu štirih elitnih skakalk troskoka ugotoviti izbrane kinematične in dinamične parametre pri globinskih skokih z višine 25 cm in 45 cm. Testa se razlikujeta v začetni višini. Predvidevamo lahko, da

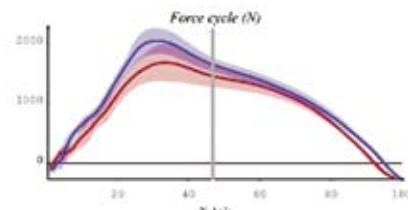
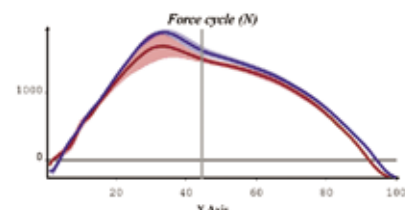
bo pri skokih z višine 45 cm prišlo do večje sile raztezanja mišic v ekscentrični fazi in s tem do večje integracije elastične in kemične energije v koncentrični fazi odziva. Zaradi večje količine akumulirane elastične energije, ki se lahko prenese v koncentrično fazo odziva ob predpogoju kratkega kontaktnega časa, lahko hipotetično pričakujemo višje vertikalne skoke. Oba testa sta pomembna diagnostična kazalnika nivoja odzivne moči skakalcev in skakalk troskoka. Cilj študije je na osnovi ugotovljenih kinematičnih in dinamičnih parametrov definirati optimalno višino globinskih skokov, ki imajo največji učinek na nivo specialne moči skakalk troskoka.

■ Metode dela

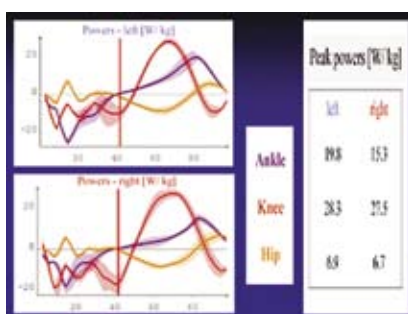
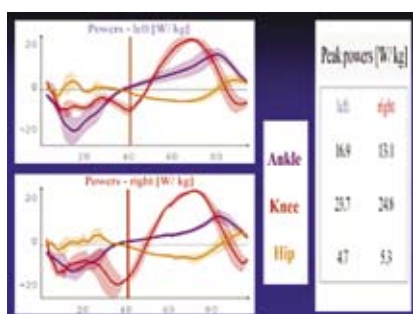
V vzorec merjencev so bile vključene štiri najboljše skakalk troskoka v Republiki Sloveniji (starost 26.3 ± 4.2 let, višina 171.3 ± 9.6 cm in telesna masa 65.2 ± 4.1 kg). Povprečen rezultat skakalk znaša 13.74 ± 1.4 m, najboljša skakalka ima rezultat 15.03 m, na olimpijskih igrah v Pekingu je zasedla v finalu 6. mesto). Merjenke so bile seznanjene z namenom, cilji in organizacijo meritev, ki so bile izvedene v skladu s Helsinško-tokijsko deklaracijo. Protokol meritev skokov je bil realiziran v Biomehanskem laboratoriju Polyclinic for Physical Medicine and Rehabilitation Peharec v Puli. Pri skokih so bile roke fiksirane v višini bokov (Slika 1). Vsak skok so merjenke ponovile trikrat, upoštevali smo najboljši rezultat. Za 3-D kinematično analizo vertikalnih skokov smo uporabili sistem devetih CCD kamer SMART-e 600 (BTS Bioengineering, Padova), ki so imele frekvenco 200 Hz in resolucijo slike 768×576 pixlov. Za obdelavo kinematičnih parametrov smo uporabili program BTS SMART Suite. Definirali smo kinematični model s sistemom 17 markerjev, občutljivih na infrardečo svetlobo (glava, ramena, podlakt, nadlakt, trup, boki, stegno, golen in stopalo). Umeritev prostora je bila opravljena s sistemom Thort2 (BTS SMART-D). Veljavnost modela smo preverili s sekvenco hoje v sagitalni in frontalni ravnini. Na osnovi



Slika 1: Globinski skok (drop jump) z višine 45 cm.



Slika 2: Bilateralna sila reakcije podlage (L noga, D noga) pri globinskem skoku 25 in 45 cm.



Slika 3: Skepna moč (P) v kolčnem, kolenskem in skočnem sklepu, normalizirana glede na telesno maso (Wkg^{-1}), po Vaughan idr., 1999.

kinematične analize smo ugotovili naslednje parametre globinskih skokov z višine 25 cm in 45 cm: višina odriava, čas odrivne faze, čas ekscentrične faze, čas koncentrične faze, hitrost odriava, hitrost v ekscentrični fazi odriava in kota v kolenskem ter skočnem sklepu.

Dinamične parametre globinskih skokov smo ugotavljali s pomočjo dveh neodvisnih tenziometrijskih platform – *force plate* (Kistler Wintherthur Švicarja, Type 9286A, 600 x 400). Frekvenca

zajemanja podatkov je bila 1000 Hz. Silo reakcije podlage smo merili unilaterarno in bilateralno (Slika 2). V analizi smo upoštevali naslednje dinamične parametre: maksimalno silo reakcije podlage z levo in desno nogo, totalen impulz sile reakcije podlage, impulz sile z levo in desno nogo. Z metodo inverzne dinamike smo izračunali moč (P) v kolčnem, kolenskem in skočnem sklepu ter jo normalizirali glede na telesno maso (Wkg^{-1}) (Slika 3). Izračun smo izve-

dli po formuli: Moč (P, t) = $M(t) \times \omega(t)$; (Vaughan idr., 1999).

Statistična analiza rezultatov je bila v nadaljevanju obdelana z računalniškim paketom SPSS.

■ Rezultati

Glede na Preglednici 1 in 2 lahko ugotovimo, da so skakalke dosegle v povprečju boljše rezultate (45.22 ± 4.65 cm) pri globinskem skoku 45 cm. Razlika med globinskima skokoma 25 cm in 45 cm znaša 1.47 cm. Najboljši rezultat (51 cm) je dosegla skakalka A, ki ima tudi absolutno najboljši rezultat troskoka. Srednja vrednost kontaktnega časa je pri skakalkah nižja pri globinskem skoku z višine 45 cm. Trajanje ekscentrične faze se med skokoma ne razlikuje. Razlika je v koncentrični fazi, ki je krajša pri skokih z višine 45 cm v povprečju za več kot 3 milisekunde. Sila reakcije podlage pri globinskem skoku 45 cm znaša 2947 ± 366 N, pri globinskem skoku 25 cm pa 2770 ± 411 N. Glede na separarno merjenje sile reakcije podlage z bipedarno tenziometrijsko platformo lahko ugotovimo, da skakalke razvijejo pri obeh skokih večjo silo z levo (dominantno) nogo. Pri globinskem skoku 25 cm je razlika v sili reakcije podlage med levo in desno nogo 34 N, pri globinskem skoku 45 cm pa 21 N. Vertikalna hitrost odriava pri globinskem skoku 25 cm je bila 2.77 ± 0.19 $m \cdot s^{-1}$, pri globinskem skoku 45 cm pa 2.86 ± 0.15 $m \cdot s^{-1}$. Hitrost skakalk v ekscentrični fazi odriava je pri globinskem skoku 45 cm večja za 0.41 $m \cdot s^{-1}$. Amplituda upogiba v kolenskem sklepu je pri obeh globinskih skokih povsem enaka.

■ Razprava

Globinski skoki so eno od najpomembnejših vadbenih sredstev v procesu treninga skakalcev in skakalk troskoka. Hkrati so tudi pomemben diagnostični merski instrumentarij kontrole specifične odrivne moči. Troskok je tipična atletska disciplina, kjer tekmovalni rezultat generirata predvsem horizontalna hitrost in odrivna moč atleta. Iz-

Preglednica 1: Kinematični in dinamični parametri globinskega skoka 25 cm (DROP JUMP 25 cm)

Parameter	Unit	A	B	C	D	Mean	SD
DJ25H	cm	49,6	40,4	46,4	38,6	43,75	5,13
DJ25TIMECON	ms	88	83	108	80	89,75	12,60
DJ25TIMEECC	ms	67	52	75	94	72,00	17,49
DJ25CONTACT	ms	155	135	183	174	161,75	13,44
DJ25FL	N	1382	1539	753	1937	1402,75	492,13
DJ25FR	N	1354	1474	893	1752	1368,25	358,00
DJ25IMPR	Ns	141	118	88	139	121,50	24,63
DJ25IMPL	Ns	146	127	103	103	132,25	22,38
DJ25VEL	m.s ⁻¹	2,88	2,56	2,99	2,99	2,77	0,19
DJ25DOWN	m.s ⁻¹	-2,68	-2,26	-2,86	-2,86	-2,55	0,27
DJ25ANKLEL	deg	20	10	23	23	19,50	6,65
DJ25ANKLER	deg	20	11	24	24	20,00	6,37
DJ25KNEEL	deg	54	42	62	62	54,75	9,21
DJ25KNEER	deg	50	26	70	70	51,50	18,85

Legenda: DJ25H – višina skoka, DJ25TIMECON – čas koncentrične faze odriva, DJ25TIMEECC – čas ekscentrične faze odriva, DJ25CONTACT – totalni kontaktni čas, DJ25FR – maksimalna sila (desna noga), DJ25JFL – maksimalna sila (leva noga), DJ25IMPR – impulz sile (desna noga), DJ25IMPL – impulz sile (leva noga), DJ25VEL – hitrost odriva, DJ25DOWN – ekscentrična hitrost, DJ25ANKLER – kot v kolenu (desna noga), DJ25ANKLEL – kot v kolenu (leva noga), DJ25KNEER – kot v gležnju (desna noga), DJ25KNEEL – kot v gležnju (leva noga).

Preglednica 1: Kinematični in dinamični parametri globinskega skoka 45 cm (DROP JUMP 45 cm)

Parameter	Unit	A	B	C	D	Mean	SD
DJ45H	cm	51,0	42,2	46,9	40,8	45,22	4,65
DJ45TIMECON	ms	83	84	100	79	86,50	9,25
DJ45TIMEECC	ms	68	59	72	91	72,50	13,47
DJ45CONTACT	ms	151	143	172	170	159,00	11,03
DJ45FL	N	1482	1601	830	2025	1484,50	494,66
DJ45FR	N	1439	1504	893	2017	1463,25	459,73
DJ45IMPR	Ns	147	134	93	147	130,25	25,57
DJ45IMPL	Ns	152	134	105	165	139,00	25,98
DJ45VEL	m.s ⁻¹	2,92	2,71	3,05	2,76	2,86	0,15
DJ45DOWN	m.s ⁻¹	-3,09	-2,83	-3,21	-2,73	-2,96	0,22
DJ45ANKLEL	deg	18	10	24	24	19,00	6,63
DJ45ANKLER	deg	21	12	24	26	20,75	6,18
DJ45KNEEL	deg	54	44	58	60	54,00	7,11
DJ45KNEER	deg	50	32	64	60	51,50	14,27

Legenda: DJ45H – višina skoka, DJ45TIMECON – čas koncentrične faze odriva, DJ45TIMEECC – čas ekscentrične faze odriva, DJ45CONTACT – totalni kontaktni čas, DJ45FR – maksimalna sila (desna noga), DJ45JFL – maksimalna sila (leva noga), DJ45IMPR – impulz sile (desna noga), DJ45IMPL – impulz sile (leva noga), DJ45VEL – hitrost odriva, DJ45DOWN – ekscentrična hitrost, DJ45ANKLER – kot v kolenu (desna noga), DJ45ANKLEL – kot v kolenu (leva noga), DJ45KNEER – kot v gležnju (desna noga), DJ45KNEEL – kot v gležnju (leva noga).

vedba treh skokov (*hop, step in jump*) je odvisna od ekscentrično-koncentrične neuromišične modulacije razvijanja

sile. Zelo podobno modulacijo razvoja sile imajo prav globinski skoki. Stopnja obremenitve pri globinskih skokih je

definirana z globino skoka, maso športnika, kontaktnim časom in višino vertikalnega skoka. Pri teh skokih so najbolj obremenjeni plantarni fleksorji stopal ter ekstenzorji kolena in kolka. Daskok mora biti izveden tako, da ne pride do kontakta pete s podlago. Udarec pete povzroči, da sila reakcije podlage naraste za več kot 10 % (Joshua idr., 2011). Če zaviranja v ekscentrični fazi ne morejo zagotoviti ekstenzorji skočnega sklepa, to funkcijo prevzamejo ekstenzorji kolena in bokov. Vendar se v tem primeru bistveno podaljša čas prehoda iz ekscentrične v koncentrično fazo, kar ima negativne posledice za učinkovit skok.

Poleg ekscentrično-koncentrične kontrakcije je ključni mehanizem učinkovitosti globinskih skokov ustrezna predaktivacija. Faza predaktivacije se pričinja 40–60 milisekund pred dotikom stopala s podlago (Gollhofer in Kyrolainen, 1991). Funkcija predaktivacije mišic je v ustrezni pripravi na raztezanje. To pred pripravo zagotavlja koaktivacija m. gastrocnemiusa in m. tibialis anteriorja (Komi, 2000). Togost m. gastrocnemiusa tako omogoča shranjevanje večje količine elastične energije v tetivo in manjše raztezanje mišice (Luhtanen in Komi, 1980; Komi in Nicol 2000; Marković idr., 2004). Cilj globinskih skokov je skrajšanje časa amortizacije, ki generira optimalni prehod iz ekscentrične v koncentrično kontrakcijo. Če koncentrična kontrakcija ne sledi dovolj hitro ekscentrični kontrakciji, pride do izgube elastične energije, ki se je shranila v prečnih mostičkih. V fazi raztezanja mišic in tetiv (ang. *prestretch*) se pretežni del elastične energije shranjuje v serialne elastične elemente mišic – aponevroze, tetive in prečne mostičke (Bobbert idr., 1987; Bobert in van Ingen Schenau, 1988). Del elastične energije je na voljo le 15–100 milisekund (Komi in Gollhofer, 1997). Količina shranjene elastične energije je odvisna tudi od sile raztezanja mišice in raztezanja mišično-tetivnega kompleksa. Pomembna je togost obeh sistemov. Prav skakalci troskoka razvijejo večjo togost mišic (m. gastrocnemius), kot jo ima ahilova tetiva (Zatsiorsky, 1995). Znano je dejstvo, da lahko mišično-te-

tivni kompleks v pogojih večje hitrosti ekscentrično-koncentričnega ciklusa shrani večjo količino kinetične energije v obliki elastične energije (Bobbert in van Soest, 2000; Komi, 2000). Generiranje elastične energije pomeni tudi krajše kontaktne čase, kar je pri troskoku odločujoč dejavnik pri zagotavljanju horizontalne hitrosti. Pri dolgem kontakten času (več kot 200 milisekund) s podlago se del absorbirane elastične energije pretvori v toplotno energijo (Komi, 2000; Komi in Nicol, 2000). Študije kažejo (Perttunen idr., 2000; Panoutsakopoulos in Kollias, 2008), da pri vrhunskih skakalkah troskoka variirajo kontaktni časi (*hop, step, jump*) od 120 do 185 milisekund. Podobne čase lahko ugotovimo pri vzorcu naših skakalk pri globinskih skokih.

Glede na rezultate globinskih skokov atletinj našega vzorca lahko ugotovimo, da so pri skokih z višine 45 cm dosegle večjo vertikalno višino skokov (45.22 ± 4.65 cm), da imajo krajše kontaktne čase (159 ± 11.03 m.s), razvile so večjo vertikalno hitrost odziva (2.86 ± 0.15 m.s⁻¹) in večjo bilateralno silo reakcije podlage (2947 ± 27.88 N) ob enakih amplitudah kolenskega in skočnega sklepa. Skakalke so pri globinskem skoku z višine 45 cm razvile za 7.01 % večjo silo reakcije podlage kot pri globinskem skoku z višine 25 cm. Glede na separatno merjenje znaša unilateralna sila reakcije podlage z levo (dominantno) nogo $1402 \pm$ N in z desno nogo 1368 ± 358 N. Razlika maksimalne sile reakcije podlage z dominantno in nedominantno nogo je 34 N. Pri globinskem skoku z višine 45 cm znaša ta razlika 21 N. Vse, razen skakalke C, razvijejo z dominantno (levo nogo) večjo silo reakcije podlage kot z nedominantno (desno nogo), kar velja za oba globinska skoka.

Globinski skoki z višine 45 cm povzročajo večjo ekscentrično hitrost v fazi amortizacije, ki znaša -2.96 ± 0.22 m.s⁻¹. Pri globinskem skoku z višine 25 cm je ta vrednost -2.55 ± 0.27 m.s⁻¹. Elitne skakalke očitno uporabljajo strategijo skokov s hitrim ekscentrično-koncentričnim ciklusom. Samo hitra transformacija ekscentrične v koncentrično

kontrakcijo ob izkoriščanju refleksa raztezanja omogoča učinkovit prenos elastične energije iz prve v drugo fazo odzivne akcije. To se jasno manifestira z vertikalno hitrostjo odziva v koncentrični fazi skoka. Pri globinskih skokih z višine 45 cm imajo skakalke vertikalno hitrost odziva 2.86 ± 0.15 m.s⁻¹, pri skokih z višine 25 cm pa 2.77 ± 0.19 m.s⁻¹. Najboljša skakalka A ima tudi absolutno največjo hitrost odziva 3.09 m.s⁻¹. Vertikalna hitrost odziva je močno povezana z višino skoka. Pri globinskem skoku z višine 45 cm dosega skakalke v povprečju 3.3 % boljše rezultate kot pri globinskem skoku z višine 25 cm. Srednji rezultat višine skoka pri globinskem skoku z 25 cm znaša 43.75 ± 5.13 cm, pri globinskem skoku 45 cm pa 45.22 ± 4.65 cm. Atletinja A je dosegla tudi absolutno največjo višino skoka 51 cm.

Osnovni predpogoj za učinkovito izvedbo globinskih skokov je ustrezna predaktivacija agonistov in antagonistov, ki zagotavljajo povečano togost skočnega sklepa, za kar je odgovoren centralni motorični program (ang. *joint stiffness regulation*), ki kontrolira in sinhronizira delovanje upogibalk in iztegovalk stopala pred kontaktom s podlago (Gollhofer in Kyrolainen, 1991; Voigt, 1995; Nicol idr., 2006; Joshua idr., 2011). Ta predaktivacija se kaže v majhni amplitudi plantarne fleksije stopala pri doskoku, ki je 52.7 ± 11.4 stopinj. Hkrati lahko ugotovimo tudi majhno amplitudo v kolenskem sklepu 19.9 ± 1.8 stopinj.

Na osnovi metode inverzne dinamike smo ugotavljali sklepno moč v kolčem, kolenskem in skočnem segmentu pri globinskih skokih s 25 cm in 45 cm. Moč smo normalizirali glede na telesno težo atletinj (Wkg⁻¹). Pri globinskem skoku z višine 25 cm in 45 cm so imele atletinje največje vrednosti sklepne moči kolena, nato skočnega sklepa in kolka (Slika 3). Srednja vrednost bilateralne sklepne moči kolena znaša 55.8 Wkg⁻¹. Med dominantno in nedominantno nogo obstaja velika simetrija. Unilateralna sklepna moč levega kolena je 28.3 Wkg⁻¹ in desnega kolena 27.5 Wkg⁻¹ pri globinskem skoku z višine 45 cm. Skupna

sklepna moč vseh treh segmentov pri skoku z višine 45 cm znaša pri atletinjah 104.5 Wkg⁻¹; pri skoku z višine 25 cm pa 88.5 Wkg⁻¹. Te vrednosti kažejo nivo obremenitve spodnjih ekstremitet, ki so podobne tekmovalnim pogojem pri troskoku žensk (Hay, 1992; Perttunen idr., 2000).

■ Sklep

Globinski skoki so pomembno trenajžno sredstvo skakalcev in skakalk troskoka. Z njimi izboljšujemo funkcijo ekscentrično-koncentričnega mišičnega delovanja spodnjih ekstremitet. Hkrati so ti skoki tudi zanesljiv in objektivni merski instrumentarij diagnostike in načrtovanja njihovega procesa treniranja. Sodobna diagnostika temelji na nekaterih povsem novih novih merskih tehnologijah in interdisciplinarnem pristopu treniškega procesa. Raziskave s področja odzivne moči atletov skakalcev, ki jih izvajamo z integriranimi merilnimi sistemi, kot so tenziometrijske platforme, infra-spektralni CCD kinematični sistemi, lahko zagotovijo tiste relevantne informacije, ki so pomembne za razvoj rezultatov v skakalskih atletskih disciplinah. Globinski skoki so glede dinamične in kinematične strukture ter neuromišičnih mehanizmov podobni troskoku. Študija je pokazala, da globinski skoki z višine 45 cm zagotavljajo najboljše efekte razvoja odzivne moči v pogojih ekscentrično-koncentričnih kontrakcij. Ker je bil vzorec elitnih skakalk troskoka relativno majhen, je potrebno rezultate vendarle obravnavati z določeno mero tolerance. Nedvomno pa so rezultati študije pomemben prispevek v razumevanju zakonitosti pliometričnega treninga moči.

■ Literatura

1. Bobbert, M., Huijing, P. in van Ingen Schenau, G. (1987). Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 19, 332–338.
2. Bobbert, M. in van Ingen Schenau, G. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21, 249–262.

3. Bobbert, M. in van Soest, A. (2000). Two joint muscles offer the solution, but what was the problem. *Motor control*, 4 (1), 48–52.
4. Bosco, C., Vittori, C. in Matteuci, E. (1995). Considerazioni sulle variazioni dinamiche di alcuni parametri biomeccanici nella corsa. *Atleticastudi - supplemento*, 2, 155–162.
5. Cavagna, G. in Citterio, G. (1974). Effect of stretching on the elastic characteristics of the contractile component of the frog muscle. *Journal of Physiology*, 239, 1–14
6. Hay, G. in Miller, J. (1985). Techniques used in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 185–196.
7. Hay, J. (1992) The biomechanics of the triple jump: a review. *Journal of Sport Science*, 10 (4), 343–378.
8. Gollhofer, A. in Kyrolainen, H. (1991). Neuro-muscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 34–40.
9. Joshua, T., Weinhandl, J., Smith, D. in Dugan, L. (2011). The Effects of Repetitive Drop Jumps on Impact Phase Joint Kinematics and Kinetics. *Journal of Applied Biomechanics*, 27, 108–115.
10. Kyrolainen, H., Komi, P., Virravirta, M. in Isolehto, J. (2009) Biomechanical Analysis of the Triple Jump. *New Studies in Athletics (supplement)*, 57–64.
11. Komi, P. in Gollhofer A. (1997). Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (14), 451–459.
12. Komi, P. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*, 33 (10), 1197–2006.
13. Komi, P. in Nicol, C. (2000). Stretch –shortening cycle fatigue. V: McIntosh, B. and Nigg, B.(ed), *Biomechanics and Biology of Movement*. Champaign (IL): *Human Kinetics*.
14. Luhtanen, P., & Komi, P. (1980). Force-, power- and elasticity-velocity relationship in walking, running and jumping. *European Journal of Applied Physiology* 44 (3), 79–289.
15. Marković, G., Dizdar, D., Jukić, I. in Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Strength and Conditioning Journal*, 16 (5), 20–31.
16. Nicol, C., Avela, J. in Komi, P. (2006). The Stretch-Shortening Cycle. *Sports Medicine*, 36 (11), 977-999.
17. Panoutsakopoulos, V. in Kollias, I. (2008). Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 4, 53–61.
18. Perttunen, J., Kyrolainen, H. in Komi, P. (2000) Biomechanical loading in the triple jump. *Journal of Sports science*, 18, 363–370.
19. Vaughan, C., Davis, B. in O' Connor, J. (1999). *Dynamic of Human Gait* (2nd ed.) South Africa: Kiboho Publishers.
20. Voigt, M., Simonsen, E. in Klausen, K. (1995). Mechanical and muscular factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *Journal of Biomechanics*, 28 (3), 293–307.
21. Zatsiorsky, V. (1995). Science and practise of strenght training. Champaign (IL) *Human Kinetics*.
22. Yu, B. in Hay, G. (1996). Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29, 1283–1289.

prof. dr. Milan Čoh, prof. šp. vzg.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport –
Katedra za atletiko – predstojnik
e-naslov: milan.coh@fsp.uni-lj.si