



Severin Lipovšek,
Milan Čoh, Stanko Štuhec, Rok Vertič

Povezanost kinematičnih spremenljivk z uspešnostjo rotacijske tehnike suvanja krogle pri vrhunskih metalcih

Izvleček

V dosedanjih raziskavah na področju kinematike suvanja krogle je bilo pokazanih več kinematičnih parametrov, ki definirajo samo uspešnost v tej disciplini, a večina teh zaobjema le izmetno fazo meta. Tako nas je v tej raziskavi zanimalo, ali obstajata povezanost in vpliv kinematičnih dejavnikov, ki niso vezani le na izmetno akcijo, temveč tudi na predhodne faze meta. Vzorec v raziskavi je obsegal 10 vrhunskih metalcev krogle z rotacijsko tehniko, ki so tekmovali na Zimskem evropskem prvenstvu v metih v Splitu leta 2008. Snemanje smo opravili z dvema sinhroniziranimi visokofrekvenčnimi kamerama, kinematična analiza pa je bila narejena s pomočjo programskega paketa APAS. Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike med boljše in slabše uvrščenimi metalci pri šestih kinematičnih parametrih. Izračun Pearsonovega korelacijskega koeficienta pa je potrdil statistično značilno povezanost devetih kinematičnih parametrov s končnim uspehom. Nadalje smo z uporabo linearne regresije za model, ki je zajemal kinematične spremenljivke poševnega meta, pojasnili 94,6 % tekmovalne uspešnosti. Omenjeni model je bil statistično značilen, kot tudi preostali izračunani modeli. Izjema je bil le model, ki je vseboval kinematične parametre faze obrata in prehitevanja orodja.

Ključne besede: kinematika, suvanje krogle, rotacijska tehnika, tekmovalna uspešnost.



Influence of biomechanical factors on competitive success with the rotational shot put technique in elite throwers

Abstract

The aim of this study was to determine and confirm the influence and correlation of kinematic parameters on the success in shot put at top-level athletes with rotational technique. Research on this field to date showed many different kinematic parameters defining shot-put success, but more or less only those in the release phase. For this reason, the greatest interest in this work was to find out whether there exist the correlation and influence of kinematic factors on the results that are related to all phases of the shot. The study's model consists of 10 top-level putters with rotational technique competing at the 2008 European Cup Winter Throwing in Split. The recordings were made with two synchronised high-frequency cameras, and kinematic analysis was done with the APAS software. The results of the t test for independent samples showed statistically significant differences in arithmetic means between the elite and sub-elite throwers in six kinematic parameters. The calculation of Pearson's coefficient of correlation confirmed statistically significant correlation of nine kinematic parameters with the final result. With the use of linear regression we managed to explain 94.6 % of competitive success in a model, which included parameters that determine projectile motion. The model was statistically significant, as all the other models, except the one, which included kinematic parameters of the preparatory phase.

Keywords: kinematics, shot put, rotational technique, competitive success.

■ Uvod

Tehnika suvanja krogle je izjemno kompleksno gibanje, ki se izvaja z veliko hitrostjo v zelo omejenem prostoru. Metalec mora optimizirati izmetni kot, izmetno hitrost in izmetno višino, da bi dosegel maksimalno dolžino meta. Tehnika suvanja krogle je sestavljena iz rotacijskih in linearnih gibalnih sekvenc, ki morajo biti ritmično med seboj povezane. Krožno/rotacijsko tehniko suvanja krogle delimo na več faz: 1) uvodno fazo (1. dvooporna faza), 2) fazo obrata in prehitevanja orodja (1. enooporna faza, 1. brezoporna faza, 2. enooporna faza, začetek 2. dvooporne faze), 3) izmetno fazo ali fazo maksimalnega napora (2. dvooporna faza, 3. enooporna faza, 2. brezoporna faza) ter 4) fazo ohranjanja ravnotežja (4. enooporna faza). Uspešnost v suvanju krogle definirajo biološki (antropometrični, fiziološki in motorični parametri tekmovalca) ter fizikalni – mehanski parametri, ki definirajo tehniko suvanja posameznega atleta. V teoriji in praksi se postavlja permanentno vprašanje, kako posamezna segmentarna gibanja medsebojno povezati, da bi bila hitrost krogle na koncu maksimalna.

V dosedanjih študijah suvanja krogle lahko zasledimo več raziskav kinematičnih parametrov na vrhunskih metalcih krogle oziroma na največjih tekmovalcih (Sušanika in Stepanek, 1986, Hubbard, 2001, Ariel s sod., 2004, Čoh, Štuhec in Štimec, 2005, Čoh in Supej, 2007, Čoh, Štuhec in Supej, 2008, Byun s sod., 2008, Harasin s sod., Gutierrez-Davila s sod., 2009, Schaa, 2010, Oh s sod., 2011, Čerkez, 2014). Večina prvih študij je raziskovala kinematične parametre, ki definirajo biomehanske zakonitosti poševnega meta (izmetna hitrost, izmetna višina, izmetni kot). Ariel s sod. (2004) je analiziral finale v suvanju krogle na olimpijskih igrah v Atenah leta 2004. Pri nosilcih medalj je izračunal povprečno višino izmeta 2,39 m, povprečni izmetni kot 36 stopinj ter povprečno izmetno hitrost 13,8 m/s za mete dolžine 21 m. Čoh in Supej (2008) sta pri metih preko 20 m slovenskega rekorderja M. V. izračunala izmetno hitrost 13,7 m/s, izmetni kot 36 stopinj in izmetno višino 2,28 m. Byun s sod. (2008) je opravil raziskave na finalistih svetovnega prvenstva v Osaki leta 2007. Izračunani kinematični parametri izmetne faze so bili podobni kot v prejšnjih raziskavah, in sicer izmetne hitrosti med 12,83 in 14,07 m/s, izmetni koti med 30,77 in 37,66 stopinjami ter višina izmeta med 2,10 in 2,58 m za mete med 19,62 in 22,04

m. S končnim rezultatom je statistično značilno korelirala izmetna hitrost.

Harasin s sod. (2008) v svojih raziskavah ni analiziral le glavnih kinematičnih parametrov izmeta, ampak je ugotavljal vpliv nekaterih parametrov v ostalih fazah meta. Ugotovil je, da imajo boljši metalci manjšo hitrost v fazi obrata (2,4 m/s) kot slabši metalci (3,3 m/s), ni pa ugotovil statistično značilnih razlik v kotnih premikih spodnjih okončin v fazi izmeta.

Tudi nekatere novejšje raziskave na vrhunskih metalcih krogle z rotacijsko tehniko so potrdile že obstoječe informacije o ključnih kinematičnih parametrih izmeta, omeniti pa velja raziskavi Schaa (2010) in Čerkez (2014). Prvi je v svoji študiji uporabil multivariatno regresijsko analizo z dvema prediktorjema, končno izmetno hitrost in izmetni kot. Rezultati regresijske analize so pokazali značilen vpliv prediktorjev na končno dolžino meta, pojasnjene pa je bilo 82 % variance kriterijev. Čerkez pa je z multivariatno analizo pojasnila 97 % variance izbranih kriterijev. Pri metalcih z rotacijsko tehniko suvanja krogle so se kot statistično značilni parametri, ki vplivajo na končni uspeh, pokazali povprečna hitrost krogle v izmetni fazi, izmetni kot, končna izmetna hitrost (vsi trije s pozitivnim vplivom) in telesna višina tekmovalca (negativen vpliv).

Iz dosedanjih študij lahko razberemo, da je bil večji del raziskovanja usmerjen v definiranje kinematičnih parametrov faze izmeta. S končnim uspehom je v največji meri korelirala končna izmetna hitrost, ki pa je le posledica predhodnih gibanj, ki morajo zagotoviti ustrezen pospešek orodja (krogle). Zagotoviti pospešek v predhodnih fazah pa terja izvor energije, torej gibalne sekvence in potisne sile, ki to omogočita. Tako je bil namen te raziskave na vzorcu vrhunskih metalcev krogle, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja, definirati in določiti kinematične parametre predhodnih faz meta (faza obrata in prehitevanja orodja, začetek izmetne faze), ki generirajo pogoje za razvoj največje izmetne hitrosti in s tem končne dolžine meta. Iskanje kinematičnih parametrov, ki bi pokazali tehnično učinkovitost predhodnih faz meta, je izjemno pomembno, koristno in uporabno za praktične rešitve pri izboljšavi tehnike metalcev, saj je rotacijski način metanja pogostej prisoten kot linearni.

■ Metode

Vzorec merjencev

V vzorec merjencev je bilo zajetih 10 atletov v disciplini suvanje krogle, ki so tekmovali na zimskem Evropskem prvenstvu v metih v Splitu leta 2008. Vsi atleti so uporabljali rotacijsko tehniko suvanja krogle. Povprečna starost merjencev je bila 28,5 +/- 3,5 let, povprečna telesna teža 123,6 +/- 46,4 kg ter povprečna telesna višina 1,89 +/- 0,08 m. Za potrebe te raziskave smo merjenje na podlagi ovrednotenja njihovega dosežka po mednarodno sprejetih madžarskih tablicah (Spiriev, 2011) razdelili v dve skupini, in sicer v skupino elitnih metalcev ($n = 6$) ter skupino sub-elitnih metalcev ($n = 4$). Meja je bila postavljena na 1100 točk, kar pomeni met dolžine 19,65 metra.

Merilni postopek

Meritve so bile izvedene na atletskem štadiону v Splitu 16. marca 2008 na zimskem Evropskem prvenstvu v metih. Registrirani so bili vsi meti vseh tekmovalcev, za končno analizo pa je bil izbran najdaljši met vsakega posameznega tekmovalca. Snemanje smo opravili z dvema sinhroniziranimi visokofrekvenčnima kamerama (SONY, DVCAM DSR-300 PK, Japonska), ki sta bili postavljeni pod kotom 45 stopinj in 135 stopinj glede na smer meta. Frekvenca pri obeh kamerah je bila 50 Hz z ločljivostjo 720 x 576 točk. Analizirani prostor kroga je bil umerjen z referenčnim merilnim okvirjem dimenzij 1 m x 1 m x 2 m. Pridobljeni podatki so bili obdelani v laboratoriju za kinematiko na Inštitutu za šport v Ljubljani. Za ugotavljanje biomehanskih parametrov tehnike smo uporabili programsko opremo APAS – Ariel Dynamics Inc., San Diego, Ca (Slika 1, 2 in 3).

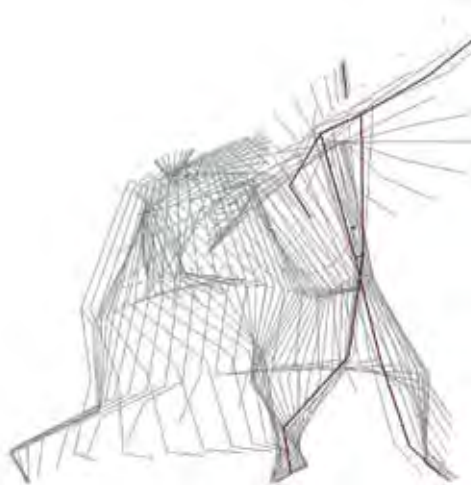
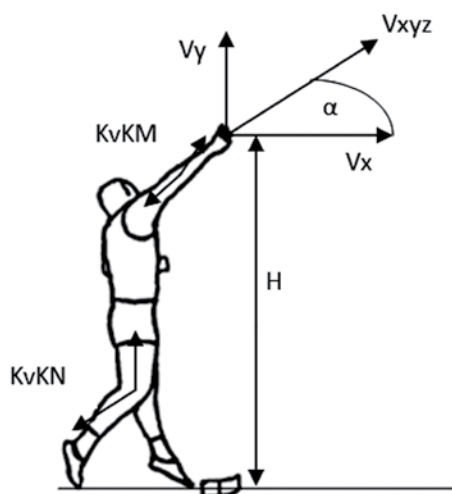
Vzorec spremenljivk

Model spremenljivk, ki smo jih v raziskavi preverili, vsebuje 22 kinematičnih parametrov (Tabela 1).

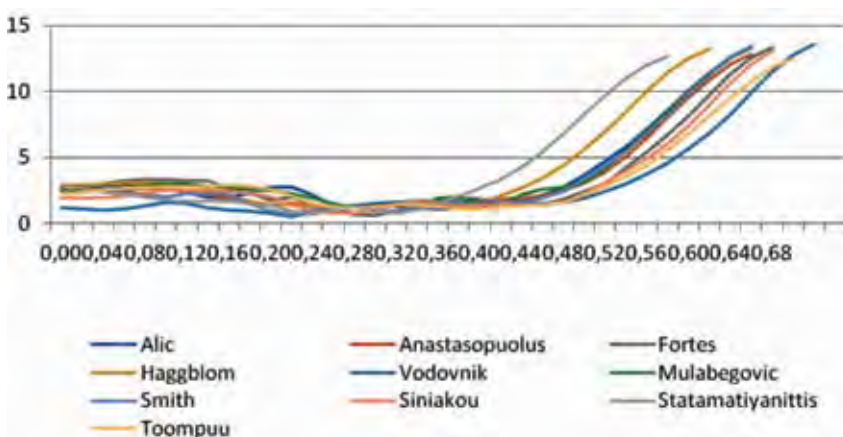
Metode obdelave podatkov

Kinematične parametre smo za potrebe statistične analize razdelili po fazah sunka (Tabela 2).

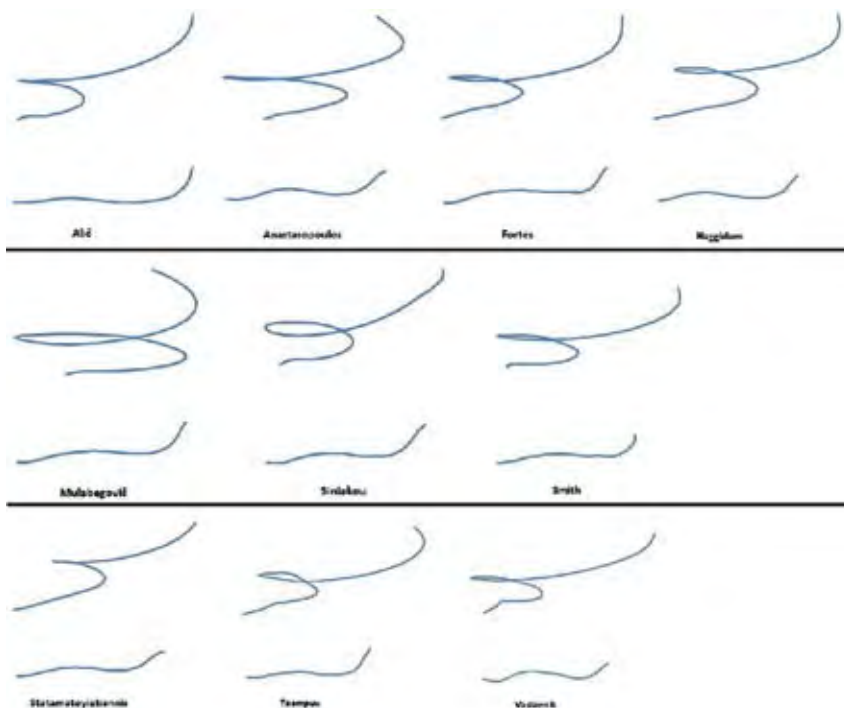
Statistični postopki so bili obdelani s programskim paketom IBM SPSS Statistics, verzija 22.0.0. Uporabili smo sledeče statistične metode: 1) deskriptivna statistika za vse spremenljivke, 2) t test za neodvisne vzorce za ugotavljanje razlik v vrednosti kinema-



Slika 1. Biomehanski parametri izmeta in palični diagram zadnje faze sunka krogle.



Slika 2. Gibanje krogle v horizontalni in vertikalni smeri skozi celoten met.



Slika 3. Trajektorija desnega kolena v X-Z smeri in centralnega težišča telesa.

tičnih parametrov med dvema skupinama merjencev (elitni in sub-elitni), 3) Pearsonov koeficient korelacije za ugotavljanje povezanosti izbranih kinematičnih parametrov s končnim rezultatom, 4) metoda linearne regresije (metoda Enter) za izračun vpliva izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost.

Rezultati

Deskriptivni statistični parametri

V Tabeli 3 je prikazana deskriptivna statistika našega nabora 22 kinematičnih parametrov za celoten vzorec merjencev, ki vključuje izmerjeno uradno dolžino meta ter izračunanih 21 kinematičnih spremenljivk v različnih fazah meta (koti, kotne hitrosti, hitrosti, razdalje).

Razlike v kinematičnih parametrih med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev

V Tabeli 4 so prikazani rezultati univariante analize primerjave aritmetičnih sredin (t test za neodvisne vzorce) kinematičnih parametrov med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle. Rezultati t testa so pokazali značilne razlike v doseženi končni daljavi (D) med obema skupinama metalcev ($20,07 \pm 0,41$ in $18,59 \pm 0,55$), v horizontalni izmetni hitrosti V_x ($10,68 \pm 0,49$ in $9,77 \pm 0,29$), končni izmetni hitrosti V_{xyz} ($13,37 \pm 0,12$ in $12,76 \pm 0,23$), v dolžini poti, kjer metalec aktivno deluje na orodje L ($1,56 \pm 0,06$ in $1,43 \pm 0,07$), v kotni hitrosti med kolčno in ramensko osjo od začetka 2. dvo-
oporne faze do izmeta KvRK ($484 \pm 88,87$

Tabela 1

Izbor kinematičnih parametrov rotacijske tehnike suvanja krogla

Spremenljivka	Oznaka	Enota
Dolžina najdaljšega meta	D	m
Horizontalna izmetna hitrost	Vx	m/s
Vertikalna izmetna hitrost	Vy	m/s
Absolutna izmetna hitrost	Vxyz	m/s
Višina izmeta	H	m
Razlika med višino izmeta in telesno višino	Hdif	m
Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu	L	m
Izmetni kot krogla	a	°
Kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu	KvKM	rad
Kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu	KvKN	rad
Kot med kolčno in ramensko os v začetku 2. dvooporne faze	b	°
Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze	Zdif	cm
Seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi	KvDavgIzmet	rad
Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi	KvRK	rad
Povprečna hitrost krogla v fazi obrata in prehitevanja orodja	VkroglObrat	m/s
Padec povprečne hitrosti krogla v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo	Vkroglalzguba	m/s
Povprečna hitrost krogla od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	VkroglOpora	m/s
Razlika v hitrosti krogla od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti	VkroglDIF	m/s
Povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	LkolAvgOpora	m/s
Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	DkolAvgOpora	m/s
Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	LkolDifDkolAvg	m/s
Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi	DramaDifDkolIzmet	m/s

Tabela 2

Razvrstitev kinematičnih parametrov glede na faze meta

Faza obrata in prehitevanja orodja	Faza maksimalnega napora	Izmet krogla
Zdif	L	Vx
b	KvDavgIzmet	Vy
VkroglObrat	KvRK	Vxyz
Vkroglalzguba	VkroglOpora	H
	VkroglDIF	Hdif
	LkolAvgOpora	a
	DkolAvgOpora	KvKM
	LkolDifDkolAvg	KvKN

in $323 \pm 62,00$), ter v postavitvi širine stopal v začetku 2. dvooporne faze, ki se razlikuje od idealne postavitve Zdif ($4,33 \pm 3,61$ in $16,50 \pm 6,86$).

Povezanost kinematičnih parametrov s končnim rezultatom

Rezultati izračuna Pearsonovega korelacijskega koeficienta so predstavljeni v Tabeli 5. S končno dolžino meta je značilno koreliralo 9 kinematičnih parametrov iz vseh faz meta (Vxyz, Vx, H, DramaDifDkolIzmet, VkroglDIF, KvRK, DkolAvgOpora, LkolDifDkolAvg, Zdif).

Vpliv kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost

V Tabeli 6 so prikazani rezultati linearne regresije za model spremenljivk, ki je vseboval kinematične parametre, ki določajo mehanske zakonitosti poševnega meta (Vxyz, H, a). Z njimi smo uspeli pojasniti 94,6 % tekmovalne uspešnosti ($R^2 = 0,946$), izbrani model spremenljivk pa je statistično značilen ($F = 34,953$, $p < 0,05$). Značilen prediktor našega modela je samo končna izmetna hitrost (Vxyz) ($p = 0,001$), na meji statistično značilnega vpliva pa je tudi parameter izmetni kot (a) ($p = 0,051$). Na podlagi rezultatov smo dobili sledečo regresijsko enačbo:

$$REZULTAT = -24,616 + 2,759 \cdot Vxyz + 1,542 \cdot H + 0,119 \cdot a$$

Razprava

V naši raziskavi smo ugotavljali povezanost in vpliv kinematičnih parametrov na uspešnost v suvanju krogla pri vrhunskih metalcih, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja krogla. Posebno pozornost smo namenili vplivu kinematičnih dejavnikov, ki niso vezani le na izmetno akcijo, temveč tudi na predhodne faze meta.

Rezultati deskriptivne statistike so potrdili elitnost našega vzorca merjencev, saj so vrednosti kinematičnih parametrov izmeta primerljive z do sedaj objavljenimi študijami najboljših metalcev krogla na svetu (Ariel, 2004, Byun s sod., 2008, Gutierrez-Davilla s sod., 2009, Schaa, 2010, Oh, 2011, Čerkez, 2014).

Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogla pri šestih kinematičnih parametrih. Poleg same dolžine meta se boljši in slabši metalci razlikujejo v dveh kinematičnih parametrih samega izmeta (Vx in Vxyz), dveh kinematičnih pa-

Tabela 3

Deskriptivna statistika celotnega vzorca merjenecv

Spremenljivka	AS	MIN	MAX
D (m)	19,48	18,06	20,77
Vx (m/s)	10,32	9,49	11,58
Vy (m/s)	8,09	7,09	8,47
Vxyz (m/s)	13,13	12,52	13,58
Hdif (m)	0,27	0,17	0,40
H (m)	2,16	2,05	2,31
L (m)	1,51	1,37	1,64
a (°)	38,13	31,50	41,30
KvKM (rad)	1064	871	1308
KvKN (rad)	9	-224	235
β (°)	44,25	34,60	61,20
Zdif (cm)	9,20	2,00	22,00
VkroglaoBrot (m/s)	3,68	2,91	4,23
Vkroglalzguba (m/s)	0,76	-0,53	1,41
VkroglaoPora (m/s)	7,01	6,28	7,62
VkroglaoDIF (m/s)	11,12	9,93	11,76
KvDavglzmet (rad)	214	62	399
KvRK (rad)	420	268	594
LkolkAvgOpora (m/s)	1,62	1,39	1,77
DkolkAvgOpora (m/s)	1,77	1,44	2,20
LkolkDifDkolkAvg (m/s)	0,15	-0,20	0,55
DramaDifDkolkzmet (m/s)	2,71	1,98	3,71

Legenda: AS – aritmetična sredina, MIN – najmanjša vrednost, MAX – največja vrednost.

Tabela 4

Rezultati univariatne razlike (t test za neodvisne vzorce) v kinematičnih parametrih med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle

Spremenljivka	Elitni (N = 6)		Sub-elitni (N = 4)		t	p
	AS	SD	AS	SD		
D (m)	20,07	0,41	18,59	0,55	4,94	0,001*
Vx (m/s)	10,68	0,49	9,77	0,29	3,29	0,011*
Vy (m/s)	8,01	0,54	8,20	0,12	-0,83	0,441
Vxyz (m/s)	13,37	0,12	12,76	0,23	5,52	0,001*
Hdif (m)	0,30	0,08	0,23	0,05	1,46	0,182
H (m)	2,19	0,09	2,11	0,04	1,84	0,103
L (m)	1,56	0,06	1,43	0,07	3,21	0,012*
Alfa (°)	36,88	3,09	40,00	0,93	-1,93	0,090
KvKM (rad)	1042	189,04	1097	165,59	-0,47	0,652
KvKN (rad)	-35	118,96	75	203,90	-1,09	0,308
Beta (°)	45,12	10,44	42,95	2,81	0,48	0,646
Zdif (cm)	4,33	3,61	16,50	6,86	-3,71	0,006*
VkroglaoBrot (m/s)	3,79	0,55	3,51	0,44	0,82	0,436
Vkroglalzguba (m/s)	0,80	0,69	0,70	0,42	0,27	0,797
VkroglaoPora (m/s)	7,04	0,43	6,95	0,45	0,32	0,760
VkroglaoDIF (m/s)	11,37	0,28	10,75	0,61	2,22	0,057
KvDavglzmet (rad)	250	114,33	161	84,47	1,31	0,226
KvRK (rad)	484	88,87	323	62,00	3,12	0,014*
LkolkAvgOpora (m/s)	1,64	0,14	1,58	0,11	0,68	0,518
DkolkAvgOpora (m/s)	1,65	0,17	1,95	0,23	-2,30	0,051
LkolkDifDkolkAvg (m/s)	0,01	0,27	0,36	0,14	-2,29	0,051
DramaDifDkolkzmet (m/s)	2,97	0,46	2,34	0,38	2,27	0,053

Legenda: AS – aritmetična sredina, SD – standardni odklon, t – vrednost t testa, p – statistična značilnost t testa.

rametrih faze maksimalnega napora (L in KvRK) ter v enem kinematičnem parametru faze obrata in prehitevanja orodja (Zdif). Torej smo dobili razlikovanje tudi v ostalih fazah meta, ne le izmetni fazi kot v večini do sedaj objavljenih študijah, in s tem pokazali, da imajo elitni tekmovalci res boljše tehnično izvedbo meta, ki posledično vpliva na daljši met.

Izračun Pearsonovega korelacijskega koeficienta je potrdil statistično značilno povezanost devetih kinematičnih parametrov s končnim uspehom, med katerimi so 4 iz faze izmeta (Vxyz, Vx, H, DramaDifDkolkzmet), 4 iz faze maksimalnega napora (VkroglaoDIF, KvRK, DkolkAvgOpora, LkolkDifDkolkAvg), eden pa iz faze obrata in prehitevanja orodja (Zdif). Izmed vseh smo najvišjo povezanost izračunali za parameter končna izmetna hitrost (Vxyz), kar sovpada z mnogimi drugimi raziskavami (Linthorne, 2001, Byun, 2008, Gutierrez-Davila s sod., 2009, Schaa, 2010, Oh, 2011, Čerkez, 2014). Za razliko od omenjenih raziskav pa nismo potrdili značilne povezanosti izmetnega kota s končnim uspehom, saj je bila korelacija statistično neznailna ($p = 0,288$). Značilno korelacijo smo izračunali le za končno izmetno hitrost z izmetnim kotom ($R = -0,692$, $p = 0,027$). Podobno kot Linthorne (2001), Hubbard (2001) in Gutierrez-Davila s sod. (2009) pa smo izračunali povezanost izmetnega kota s končno dolžino meta in končno izmetno hitrost v negativni smeri, torej da je pri daljših metih in višjih končnih hitrostih krogle izmetni kot vrhunskih metalcev nižji. Omeniti velja še parameter Zdif, ki je statistično značilno koreliral še z mnogimi drugimi kinematičnimi parametri (KvRK, KvKN, L, Vxyz), ne le s končno dolžino meta. Vse povezave so potrdile pomembnost predhodnih faz na končni uspeh, saj na primer nepravilna postavitev stopal v začetku 2. dvooporne faze tako negativno vpliva na omenjene parametre, ki so v povezavi s končno dolžino meta.

Za izračun vpliva kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko pri vrhunskih metalcih smo uporabili metodo linearne regresije (metoda Enter), izračunali pa smo več modelov. Vsi so bili statistično značilni, pojasnili pa so med 94,6 % do 96,7 % tekmovalne uspešnosti. Končna izmetna hitrost (Vxyz) je bil edini parameter, za katerega smo v vseh izračunih, kjer je nastopal, pokazali statistično značilen vpliv na končno dolžino meta. Enako so pokazali tudi nekateri avtorji v svojih raziskavah

Tabela 5

Statistično značilne korelacije kinematičnih parametrov s končno dolžino meta ($p < 0,05$)

Kinematični parametri	R	p
DŮVxyz	0,902	0,000
DŮVkroglaDIF	0,777	0,008
DŮVx	0,643	0,045
DŮH	0,669	0,034
DŮZdif	-0,648	0,043
DŮKvRK	0,724	0,018
DŮDkolkAvgOpora	-0,757	0,011
DŮLkolkDifDkolkAvg	-0,705	0,023
DŮDramaDifDkolkzmet	0,642	0,045

Legenda: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, P – statistična značilnost.

(Byun, 2008, Gutierrez-Davila, 2009, Schaa, 2010, Čerkez, 2014). Za razliko od teh študij pa nismo uspeli pokazati značilnega vpliva izmetnega kota in izmetne višine na končni rezultat. Smo pa ugotovili značilen vpliv nekaterih drugih parametrov, kot so KvRK, VkroglaDIF in LkolkDifDkolkAvg.

Značilnega deleža variance pa nismo uspeli pojasniti z modelom, ki je vseboval kinematične parametre faze obrata in prehitevanja orodja (Zdif, VkroglaObrat, b). Prav tako v tem modelu nismo uspeli pokazati značilnega vpliva katerega od teh parametrov na končno dolžino meta.

Zaključek

Izsledki naše študije so na vzorcu vrhunskih metalcev krogle z rotacijsko tehniko

metanja potrdili pomembnost in povezanost določenih biomehanskih parametrov s končnim rezultatom. Končna izmetna hitrost je glavni dejavnik končnega uspeha. Vendar samo končne hitrosti niso dovolj za razlago učinkovitega pospeševanja na orodje. Pri rotacijski tehniki suvanja krogle je pomembno gledati celotno gibanje metalca v fazi prehitevanja orodja in v izmetni fazi. Z izračunanimi nekaterimi drugimi parametri, kot so KvRK, VkroglaDIF, LkolkDifDkolkAvg in Zdif, smo pokazali pomembnost kinematičnih parametrov predhodnih faz meta, ki značilno vplivajo na končno dolžino meta. S tem smo nadgradili večino dosedanjih študij, ki so se osredotočale le na izmetno fazo meta krogle, in nakazali smer, v katero bi se po našem mnenju nadaljnje raziskovalno delo na tem področju moralo intenzivneje usmeriti.

Literatura

- Aleksić-Veljkić, M. Puletić, A. Raković, R. Stanković, S. Bujan, D. Stanković (2011). Comparative kinematic analysis of the best Serbian shot put putters. *Physical Education and Sport Vol. 9, No 4, Special Issue*, 2011, 359–364.
- Ariel, G. (2004). *Biomechanical Analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games*. Pridobljeno 10.11.2008, s <http://www.arielnet.com/start/apas/studies/shotfinal.pdf>
- Bartonietz, K.E. (1994). Rotational Shot Put Technique: Biomechanical findings and recommendations for training. *Track and Field Quarterly Review*, 93 (3), 18–29.
- Bradeško, B. (2007). *Primerjalna analiza med rotacijsko in linearno tehniko suvanja krogle*. Diplomsko naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
- Butler, M. (Ur.). (2007). *IAAF Statistics Handbook 2007*. Monaco Cedex: IAAF Media & Public Relations Department.
- Byun, K.O., Fujii, H., Murakami, M., Endo, T. Idr. (2008). A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 23(2), 53–62.
- Čerkez, I. (2014). *Utjecaj kinematičkih parametara na uspešnost bacanja kugle vrhunskih europskih seniora i mladih seniora s aspekta linearne i rotacijske tehnike*. Doktorska disertacija, Split: Sveučilište u Splitu, Kineziološki fakultet.
- Čoh, M. (2002). *Application of biomechanics in track and field*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo.

Tabela 6

Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko

Model	R	R kvadrat	Popravljeni R kvadrat	Standardna napaka ocene		
1	0,973	0,946	0,919	0,25196		
		Vsota kvadratov	df	Povprečje vsote kvadratov	F	p
Regresija		6,657	3	2,219	34,953	0,000**
Ostanek		0,381	6	0,063		
Skupno		7,038	9			
		Nestandardizirani koeficienti		Standardizirani koeficienti		
		B	SD	Beta	t	p
(konstanta)		-24,616	5,868		-4,195	0,006**
Vxyz		2,759	0,449	1,103	6,148	0,001**
H		1,542	1,409	0,142	1,095	0,316
a		0,119	0,049	0,385	2,426	0,051**

Legenda: 1 – model izbranih spremenljivk (Vxyz, H, a), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije, DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F, P – statistična značilnost, B – vrednost nestandardiziranih regresijskih koeficientov, SD – standardna napaka, Beta – vrednost standardiziranih regresijskih koeficientov, T – vrednost statistike t.

9. Čoh, M. (1992). *Atletika – tehnika in metodika nekaterih disciplin*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
10. Čoh, M., Jošt, B. (2005) A kinematic model of rotational shot-put. *ISBS, Beijing, China*, 357–360.
11. Čoh, M., Supej, M. (2007). Vpliv telesne konstitucije na rotacijsko tehniko suvanja kroglice. *Atletika*, 50–51, 20–23.
12. Čoh, M., Štuhec, S. (2005). 3-D kinematic analysis of the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 20 (3), 57–66.
13. Čoh, M., Štuhec, S., Supej, M. (2008). Comparative biomechanical analysis of the rotational shot put technique. *Collegium antropologicum*, ISSN 0350-6134, 2008, vol. 32, no. 1, str. 315–321, ilustr., tabele. [COBISS.SI-ID 3233713]
14. Emberšič, D.S. (2000). *Povezanost morfoloških in kinematičnih spremenljivk z uspehom v metu kopja pri vhnjskih mladih tekmovalcih in tekmovalkah*. Magistrska naloga. Fakulteta za šport, Ljubljana.
15. Emberšič, D.S. (2003). *Atletika – meti: tehnika in metodika*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
16. Goss-Sampson, M. & Champan, M. (2003). Temporal and kinematic analysis of rotational shot put technique. *Journal of Sport Sciences*, 21, 237–238.
17. Gutierrez-Davilla, M., Rojas, J., Campos, J., Gomez, J., in Encarnacion A. (2009). Biomechanical analysis of the shot put at the 12th IAAF Indoor Championships. *New Studies in Athletics*, 24 (3), 45–61.
18. Harasin, D., Milanović, D., Milinović, I. (2008). Razlike u vršnoj brzini kugle u okretu između boljih i lošijih bacača // Zbornik radova 17. ljetne škole kineziologa RH "Stanje i perspektive razvoja u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije" / Neljak, Boris, editor(s). Zagreb : Hrvatski kineziološki savez, 125–129.
19. Harasin, D., D. Milanović, I. Milanović (2008). Razlike u kutnim pomacima donjih ekstremiteta kod boljih i lošijih bacača kugle. V: Zbornik radova „18. ljetna škola kineziologa Republike Hrvatske“, Poreč (144–148).
20. Harasin, D., Milanović, D., Čoh, M. (2010). 3D kinematics of the swing arm in the second double-support phase of rotational shot put – elite vs sub-elite athletes. *Kinesiology*, 42(2), 169–174.
21. Hubbard, M., De Mestre, N. J., Scott, J. (2001). Dependence of release variables in the shot put. *Journal of Biomechanics*, 34, 449–456.
22. Judge, L. (2014). Predictors of Personal Best Performance in the Glide and Spin Shot Put for U.S. Collegiate Throwers. *Track Coach*, 209, 6674–6681.
23. Klemen, U. (2012). *Osebnostne značilnosti atletskih trenerjev*. Diplomsko naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
24. Kovač, M. (Ur.). (1995). *Šport v Republiki Sloveniji – dileme in perspektive*. Ljubljana: Ministrstvo za šolstvo in šport.
25. Kristan, S. (2000). *Športoslovje na slovenskem*. Ljubljana: Fakulteta za šport ter Inštitut za šport.
26. Lanka, J. (2000). Shot Putting. V: *Biomechanics in Sport* (ed.Vladimir Zatsiorsky), Blackwell Science Ltd, 435–457.
27. Lenz, A., Rappl, F. (2010). The optimal angle of Release in Shot Put. Pridobljeno 28.01.2016 iz www.arxiv.org.
28. Linthorne, N. P. (2001). Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, 19, 359–372.
29. Oh, C., Shin, E., Choi, S., Jeong, I., Bae, J., Lee, J., in Park, S. (2011). Kinematic analysis of elite athletes in men's shot put at World Championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21 (5), 631–638.
30. Ogorevc, M. (2000). *Atletski meti*. Brežice: Samozaložba.
31. Peng, H., Peng, H., in Huang, C. (2008). Ground reaction force of rotational shot put – case study. *26 International Conference on Biomechanics in Sports*. Seoul, Korea.
32. Račić, K. (1994). *Atletska bacanja*. Zagreb: Zagrebački športski savez, Zagrebački atletski savez.
33. Schaa, W., (2010) Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 25 (3/4), 9–21.
34. Scmolinsky, G. (2000). *The East German Textbook of Athletics*. Toronto: Sports books publisher.
35. Spiriev, B. (2011). *IAAF scoring tables of athletics*. Monaco: Multiprint.
36. Stepanek, J. (1989). Comparison of the Glide and the Rotation Technique in the Shot Put. In: Tsarouchas, L. (ed.). *Biomechanics in Sport V: Proceedings of the Vth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sport*, Hellenic Sports Research Institute, Olympic Sports Centre of Athens, Greece, 135–146.
37. Sugumar, C. (2014). A Biomechanical Analysis of The Shot Put Performance. *Global Journal for Research Analysis*, 5(3), 118–119.
38. Supej, M., Čoh, M. (2008). Using the direction of the shoulder's rotation angle as an abscissa axis in comparative shot put analysis = Uporaba smerne kota ramenske osi za absciso pri primerjalnih analizah meta kroglice. *Kinesiologija Slovenica*, ISSN 1318-2269. [Print ed.], 2008, vol. 14, no. 3, str. 5–14, ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 3543473]
39. Štuhec, S., Vertič, R. (2008). *Kinematična analiza tehnike suvanja kroglice – Miro Vodovnik, Ljubljana*. Interno gradivo. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
40. Štuhec, S., Vertič, R. (2008). *Kinematična analiza tehnike suvanja kroglice – Miro Vodovnik, Split*. Interno gradivo. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
41. Tidow, G. (1990). Model technique analysis sheet for the throwing events – The Shot Put. *New Studies in Athletics*, 1(1), 44–60.
42. Tschien, P. (1988). The throwing events: recent trends in technique and training. *New Studies in Athletics*, 7–20.
43. Vodeb, R. (2005). *Interpretacija športa*. Trbovlje: Fit.
44. Zatsiorsky, V. M. (2000). *Biomechanics in sport*. International Olympic Committee.

mag. Severin Lipovšek
Center športa in zdravja SEffit, Severin
lipovsek.severin@gmail.com