

*Ljubomir Antekolović
Ina Ostojić
Anđelka Marić*

Originalni znanstveni rad

INTERAKCIJA KINEMATIKE ZALETA, ODRAZA I REZULTATA SKOKA UDALJ

1. UVOD

Povijesni razvoj skoka udalj započinje u vrijeme antičke Grčke, a u moderno vrijeme se razvija u Engleskoj od 19. stoljeća. Od prvih modernih OI u Ateni 1896. godine pojavljuje se kao redovna disciplina u atletskom programu. Skok udalj je disciplina koju susrećemo u nastavi TZK, na svim razinama školske i natjecateljske atletike, te je redovito jedna od višebojskih atletskih disciplina. Svjetski rekord kod atletičara skočio je Mike Powell (8,95m), a kod atletičarki Galina Chistyakova (7,52 m).

Sastavni dio praktičnog i znanstvenog pristupa u analizi pojedine atletske discipline je biomehanička analiza koja omogućava egzaktnu, kvantificiranu analizu koja je standard za programiranje i kontrolu procesa treninga. Primjena sustava za kinematičku analizu u atletskim skokovima omogućuje registraciju prostorno-vremenskih pomaka bilo koje točke na tijelu ili pojedinih ekstremiteta sportaša, njihove brzine i ubrzanja, kutove, kutne brzine u zglobnim sustavima (Hraski i Mejovšek, 1999.).

Skok udalj dijeli se na četiri zasebne faze koje imaju različite biomehaničke zadatke: zalet, odraz, let i doskok. Sa znanstvenog gledišta sve faze imaju utjecaj na duljinu skoka, a podrobnije se analiziraju posljednji koraci zaleta i odraz. Istraživanja skoka udalj provedena su vrlo često u natjecateljskim uvjetima gdje su analizirane izvedbe vrhunskih skakača i skakačica udalj. Rezultati biomehaničkih analiza pogodni su za utvrđivanje povezanosti kinematičkih varijabli i duljine skoka udalj. Popov (prema Milanović i sur., 1986.) izračunava međusobnu povezanost skupa varijabli koje opisuju zalet, odraz i duljinu skoka. Korelacijska povezanost najveća je između duljine skoka i brzine zaleta ($r=0,94$), uzletne brzine ($r=0,76$), i trajanja odraza ($r=-0,83$) koje je negativnog karaktera. Visoka korelacija primjetna je u vezi između duljine posljednjeg koraka i brzine zaleta ($r=0,70$), visine leta i kuta uzleta ($r=0,89$). Duljina posljednjeg koraka i kut uzleta u negativnom su korelacijskom odnosu ($r=-0,77$), jer u ovom slučaju kraći posljednji korak osigurava veći kut uzleta. Hay i Miller (1985.) provode istraživanje tehnike skoka udalj 12 finalistica na OI 1984. godine radi opisa tehnike koja se koristi u tranziciji zaleta u odraz i

utvrđivanja karakteristika koje su značajno povezane s duljinom skoka. Korelacijske veze brzine odraza ($r=0,47$) i kuta uzleta ($r=0,28$) s duljinom skoka nisu se pokazale važnima. Pozitivna korelacija horizontalne brzine i duljine skoka izračunata je pri četvrtom koraku prije odraza ($r=0,62$). Korelacijski koeficijenti između kinematičkih pokazatelja skoka udalj na OI u Seoulu (Nixdorf i Brüggemann, 1990.) pokazuju da je najveća povezanost između duljine skoka udalj i varijabli prosječne brzine zaleta u prostoru od 6 do 1 metar prije odrazne daske (V_{6-1}), brzine 1 metar prije odrazne daske (V_1), brzine odraza (V_x). Velika povezanost je između duljine skoka i kuta tijela u trenutku kontakta s podlogom kod odraza (veći kut je u većoj korelaciji s duljinom skoka).

2. PROBLEM I CILJ ISTRAŽIVANJA

Problem ovog istraživanja je proučavanje pripreme za odraz i izvedbe odraza kao ključnih faza za izvođenje uspješnog skoka. Rezultati kinematičke analize određenih varijabli koje opisuju brzinu zaleta, duljine koraka, kutove ponudit će mogući odgovor o postojanju generalnog tehničkog obrasca koji skakači koriste u svojim izvedbama.

Cilj istraživanja je utvrđivanje međusobne povezanosti temeljnih kinematičkih varijabli zaleta i odraza s duljinom skoka udalj.

3. METODE RADA

Uzorak entiteta za ovo istraživanje činili su skokovi 14 skakača udalj, čiji su pokušaji snimljeni na dva međunarodna atletska natjecanja. Ispitanici su izveli ukupno 114 skokova od kojih su iz daljnje obrade izuzeti neuspješni pokušaji te pokušaji čiji je rezultat bio lošiji od 720 cm. Na taj način za daljnje postupke obrade ostao je 61 regularan pokušaj – *entitet*. Ispitanici su bili vrhunski ili kvalitetni skakači (Sjedinjene Američke Države, Jamajka, Južnoafrička Republika, Italija, Ukrajina, Mađarska, Slovenija, Hrvatska). Prosječna ostvarenja ispitanika ($811,35 \pm 33,69$ cm) prikazana u Tablici 1 ukazuju na vrsnost, te visoku natjecateljsku sposobnost ispitanika.

Tablica 1. Osnovni deskriptivni parametri visine, mase, starosti, najboljih rezultata u 2005. god., osobnih rekorda ispitanika i broja analiziranih pokušaja ispitanika (n=14)

Varijabla	Mean	SD	mini.	maks.
Visina (cm)	182,4	4,0	175	190
Masa (kg)	76,1	5,5	70	85
Starost (g)	27,3	4,0	23	37
Rezultat u 2005. (cm)	789,1	29,5	739	860
Osobni rekord (cm)	811,4	33,7	740	862
Broj analiziranih pokušaja	4,5	1,8	2	9

aritmetička sredina (Mean), standardna devijacija (SD), minimalni (mini.) i maksimalni (maks.) rezultati

Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu obavljeno je na skakačkom atletskom mitingu održanom 10. svibnja 2005. godine u Dolenjskim Toplicama (Slovenija), te IAAF Grand Prix ZAGREB 2005. održanom 11. srpnja 2005. godine u Zagrebu (Hrvatska).

Posljednja dva koraka i odraz snimljeni su s dvije mini DV kamere (Panasonic NV-GS200) frekvencijom 50 slika u sekundi uz brzinu zatvarača 1/400.

Obrada videozapisa i izračunavanje kinematičkih varijabli provedeni su programom Ariel Performance Analysis System (APAS, Ariel Dynamics inc., USA). Videozapisi spremljeni su u računalu u .avi formatu, nakon čega su vremenski usklađeni te za analizu izabrane sekvence posljednja tri kontakta s podlogom i prva faza leta. Veći dio predviđenih varijabli izračunat je neposredno APAS-om, a dio pogodnim trigonometrijskim funkcijama na osnovi podataka iz APAS-a.

Skup varijabli temeljen je na modelima proučavanja skoka udalj (Hay, 1986.; Ballreich, 1986.). Prema brojnim istraživanjima najveći utjecaj na duljinu skoka ostvaruje se optimalnim odnosom varijabli koje definiraju posljednje korake zaleta i odraza (Popov, 1983.; Nixdorf i Brüggemann, 1990.; Lees i sur., 1994.; Müller i Hommel, 1997.; Graham-Smith i Less, 2005.).

Varijable koje su korištene u ovom istraživanju i mjerne jedinice prikazane su u Tablici 2.

Tablica 2. Prikaz varijabli istraživanja

r. br.	Naziv varijable	Skraćeni naziv varijable	Mj. jedinica
1	Duljina skoka (efektivna)	D_{ef}	cm
2	Horizontalna brzina odraza	V_x	$m \cdot s^{-1}$
3	Vertikalna brzina odraza	V_y	$m \cdot s^{-1}$
4	Horizontalna brzina na početku odraza	V_{x_p}	$m \cdot s^{-1}$
5	Duljina pretposljednog koraka	D_{pp}	cm
6	Duljina posljednjeg koraka	D_p	cm
7	Kut uzleta	K_u	°
8	Kut amortizacije	K_{am}	°

Analiza podataka obavljena je deskriptivnom analizom, normalnost distribucije varijabli izračunata je Kolmogorov-Smirnovljevim testom na razini pogreške zaključivanja $p=0,05$. Korelacijska analiza korištena je pri utvrđivanju međusobne povezanosti kinematičkih varijabli zaleta i odraza s duljinom skoka u dalj. Statistička analiza provedena je programskim paketom *Statistica ver. 7.1* (StatSoft, Inc., 2006.).

4. REZULTATI I RASPRAVA

Osnovni deskriptivni parametri prikazani su u Tablici 3. Prezentirani su rezultati za 8 varijabli koje opisuju važne segmente tehnike skoka u dalj u 61 uspješnom pokušaju postignutom na dva međunarodna natjecanja.

Tablica 3. Osnovni deskriptivni parametri kinematičkih varijabli skoka udalj

n=61	Mean	mini.	maks.	SD	Skew	Kurt	maks. D
D_{ef} (cm)	766,72	715,80	827,08	23,96	-0,08	0,06	0,09
V_x ($m \cdot s^{-1}$)	8,42	7,80	9,37	0,33	0,62	0,62	0,06
V_y ($m \cdot s^{-1}$)	3,37	2,68	3,99	0,24	-0,34	0,53	0,06
V_{x_p} ($m \cdot s^{-1}$)	9,51	9,02	10,43	0,31	0,89	0,69	0,10
D_{pp} (cm)	235,36	201,68	271,61	15,43	0,02	-0,05	0,09
D_p (cm)	215,51	191,82	253,13	13,17	0,17	-0,36	0,11
K_u (°)	21,77	16,95	26,05	1,88	-0,27	0,03	0,08
K_{am} (°)	142,12	124,34	159,92	6,68	-0,15	0,08	0,08

Tablična vrijednost K-S TEST_{0,05} = 0,172 aritmetička sredina (Mean), minimalni (mini.) i maksimalni (maks.) rezultati, standardna devijacija (SD), koeficijent asimetrije (Skew), koeficijent izduženosti (Kurt) i maksimalno odstupanje empirijske i relativne kumulativne frekvencije (maks. D)

Analizom deskriptivnih pokazatelja i vrijednostima K-S testa utvrđena je normalnost distribucije svih kinematičkih varijabli uz pogrešku $p=0,05$.

Prosječna *horizontalna brzina na početku odraza* (V_{xp}) je $9,51 \text{ m s}^{-1}$, no njezina najveća vrijednost iznosi $10,43 \text{ m s}^{-1}$, a vrijednosti se nalaze ispod navedenih u drugim istraživanjima (Nixdorf i Brüggemann, 1990.). To je moguće objasniti različitim uzorcima, jer drugi istraživači najčešće koriste samo najbolje rezultate finalista na velikim svjetskim natjecanjima. Prosječna *vertikalna brzina odraza* (V_y) u istraživanju bila je $3,37 \text{ m s}^{-1}$ uz maksimalnu vrijednost $3,99 \text{ m s}^{-1}$. Vrijednost vertikalne brzine je u okviru prosječnih vrijednosti s OI u Seoulu - $3,23 \text{ m s}^{-1}$ (Nixdorf i Brüggemann, 1990.), ili SP u Ateni - $3,41 \text{ m s}^{-1}$ (Müller i Hommel, 1997.), a maksimalan rezultat je blizu vrijednosti vertikalne brzine Mikea Powella u skoku $895 \text{ cm} - 4,26 \text{ m s}^{-1}$ (Ariel, 1992.). *Prosječne duljine pretposljednjeg koraka* (D_{pp}) $235,36 \text{ cm}$ i posljednjeg koraka (D_p) $215,51 \text{ cm}$ u skladu su s rezultatima brojnih istraživanja gdje je posljednji korak zaleta kraći od pretposljednjeg. Prosječna vrijednost *kuta uzleta* (K_u) je $21,77^\circ$, njegova minimalna vrijednost je $16,95^\circ$, a maksimalna $26,05^\circ$. Prosječna vrijednost kuta uzleta nalazi se u okvirima podataka drugih istraživača (Nixdorf i Brüggemann, 1990.; Lees i sur., 1994.; Müller i Hommel, 1997.; Čoh i sur., 2002.).

Tablica 4. Rezultati korelacijske analize

	D_{ef}	V_x	V_y	V_{xp}	D_{pp}	D_p	K_u	K_{am}
D_{ef}	1,00							
V_x	*0,46	1,00						
V_y	*0,27	*-0,34	1,00					
V_{xp}	*0,59	*0,48	0,03	1,00				
D_{pp}	0,05	0,20	-0,02	*0,29	1,00			
D_p	0,02	0,14	-0,06	0,23	0,21	1,00		
K_u	-0,01	*-0,70	*0,88	-0,14	-0,12	-0,10	1,00	
K_{am}	*0,29	*0,33	0,15	*0,30	*0,33	0,16	-0,05	1,00

* označene p-vrijednosti značajne uz $p=0,05$

Rezultati korelacije promatranih kinematičkih varijabli i rezultata u skoku udalj upućuju na višestruke statistički značajne sveze (Tablica 4). Utvrđena je osrednja korelacija ($r=0,46$) između varijabli *horizontalne brzine* (V_x) i *duljine skoka udalj* (D_{ef}). Visoka korelacija ($r=0,59$) s duljinom skoka utvrđena je za *horizontalnu brzinu na početku odraza* (V_{xp}). *Vertikalna brzina* (V_y) na kraju odraza povezana je s duljinom skoka statistički značajno, ali uz nešto slabiji koeficijent korelacije ($r=0,27$). Statistički značajni korelativni ($r=0,29$) odnosi pronalaze se između duljine

skoka (D_{er}) i *kuta amortizacije* (K_{am}). Iako korelacijski odnos kuta u koljenom zglobu i duljine skoka ima nižu vrijednosti, on je pozitivan i statistički značajan te upućuje na potrebu zadržavanja visokog položaja tijela sa što manjim kutom amortizacije u koljenom zglobu za vrijeme odraza. Visoka negativna korelacija ($r=-0,70$) *horizontalne brzine* (V_x) i *kuta uzleta* (K_u) dokazuje kako je nemoguće producirati visoku vertikalnu brzinu u odrazu uz zadržavanje veće horizontalne brzine. Negativna korelacija ($r=-0,34$) između *horizontalne* (V_x) i *vertikalne brzine* odraza (V_y) potvrđuje prethodna saznanja kako povećanjem horizontalne brzine opada mogućnost produciranja vertikalne brzine odraza. *Vertikalna brzina* odraza (V_y) svoju najvažniju vezu ($r=0,88$) ostvaruje s *kutom uzleta* (K_u), gdje će veća vrijednost vertikalne brzine uvijek rezultirati povećanjem kuta uzleta. Za razliku od većine dosadašnjih istraživanja ne pronalaze se statistički značajne veze između duljine posljednja dva koraka i rezultata u skoku udalj niti duljine koraka s nekim drugim varijablama. Navedeni rezultat svakako treba uvažiti, jer metodika učenja skoka udalj podrazumijeva promjenu duljine koraka u pripremi za odraz.

5. ZAKLJUČAK

Povezanost varijabli brzine, očekivano, pozitivno korelira s rezultatom u skoku udalj. Praktično, u radu s učenicima i mlađim skakačima ne treba inzistirati na maksimalnoj brzini trčanja zaleta, jer je vidljivo da ona rezultira nižim vrijednostima kuta uzleta. Slaba povezanost duljina posljednja dva koraka zaleta s duljinom skoka, odnosno produciranjem vertikalne brzine odraza, opovrgava razmišljanje da je u metodici učenja skoka udalj potrebno posvetiti posebnu pozornost promjeni duljine koraka zaleta, već taj segment treba prepustiti individualnim karakteristikama izvedbe pojedinog učenika i mladog skakača udalj.

6. LITERATURA

1. Ariel, G. B. (1992). *Scientific Aspects in the Preparation of Elite Athletes*. Skinuto s mreže 10.3.2006., <http://www.sportscience.org/topics/articles>.
2. Ballreich, R., Brüggemann, G. P. (1986). *Biomechanik des Weitsprungs*. U: *Biomechanik der Sportarten* (R. Balreich, A. Kuhlow, ur.), Band 1: *Biomechanik der Leichtatletik* (str. 28-47). Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
3. Čoh, M., Kugovnik, O., Dolenc, A. (2002). *Kinematic and dynamic analysis of the take-off in the long jump*. In M. Čoh (ed.), *Application of biomechanics in track and field* (122-127). Ljubljana: Faculty of sport, Institute of Kinesiology
4. Graham-Smith, G., Less, A. (2005). *A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off*. *Journal of Sports Sciences*, 23(9):891-903.

5. Hay, J. G. (1986). *The biomechanics of the long jump*. Exercises and Sport Sciences Review, 14:401-446.
6. Hay, J. G., Miller, J. A. (1985). *Techniques used in the transition from approach to take-off in the long jump*. Journal of Sport Biomechanics, 1:174-184.
7. Hraski, Ž., Mejovšek, M. (1999.). *Primjena sustava za kinematičku analizu sportskih kretnih tehnika*. U: Zbornik radova Znanstveno-stručnog savjetovanja "Trener i suvremena dijagnostika", 8. Zagrebački sajam športa 24. do 28. veljače 1999. (ur. Ž. Hraski i Br. Matković), str. 9-17.
8. Lees, A., Graham-Smith, P., Fowler, N. (1994). *A Biomechanical Analysis of the Last Stride, Touchdown, and Takeoff Characteristics of the Men's Long Jump*. Journal of Applied Biomechanics, 11:142-162.
9. Milanović, D., Hofman, E., Puhanić, V., Šnajder, V. (1986.). *Atletika, znanstvene osnove*. Zagreb, Fakultet za fizičku kulturu.
10. Müller, H., Hommel, H. (1997). *Biomechanical Research Project at the VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report*. New Studies in Athletics, 12(2-3):43-73.
11. Nixdorf, E., Brüggemann, G. P. (1990). *Biomechanical analysis of the Long Jump*. Scientific Research Project the Games, of the XXIVth Olympiad-Seul 1988. International Athletic Foundation.
12. Popov, V. (1983). *The long jump run-up*. Track Technique, 85:2708-2709.
13. StatSoft, Inc. (2006). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.