



UTJECAJ KINEMATIČKIH VARIJABLI ZALETA I ODRAZA NA DULJINU SKOKA U DALJ

THE INFLUENCE OF THE KINEMATIC VARIABLES OF APPROACH AND TAKE-OFF ON LONG JUMP PERFORMANCE

Ljubomir Antekolović
Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet

SAŽETAK

Istraživanje je provedeno s ciljem utvrđivanja utjecaja kinematičkih parametara zaleta i odraza na rezultat u skoku u dalj, kao i utjecaj novih varijabli na duljinu skoka u dalj.

Skakači u dalj ($n=14$) bili su prosječno stari $27,28 \pm 3,95$ godina, izveli su ukupno 114 skokova u dalj, a u istraživanju je analiziran 61 uspješan pokušaj. Prema standardima procedure APAS (Ariel Performance Analysis Sistem), provedena je 3D kinematička analiza i pripremljeno je 16 kinematičkih varijabli za daljnju analizu.

Regresijskom analizom utjecaja kinematičkih varijabli na efektivnu duljinu skoka u dalj izdvojeno je 6 statistički značajnih varijabli koje objašnjavaju 73% varijance rezultata. To su: vertikalna brzina odraza (V_y), horizontalna brzina u pretposljednem koraku (V_{x2}) i odrazu (V_x), visina težišta tijela (TT) na kraju odraza, postotak spuštanja TT u pretposljednem koraku ($H_{\%3-2}$) i udaljenost između projekcije koljena i stopala (D_{ks}).

Potvrđeno je da na duljinu skoka u dalj utječu varijable određene motoričkim sposobnostima skakača te varijable kojima je određena tehnička izvedba skoka. Motoričkim sposobnostima najviše su određene varijable brzine zaleta i odraza. Tehnički dio pripreme za odraz određen je višim položajem TT u pretposljednem koraku i manjom udaljenošću projekcije koljena zamašne noge i stopala na početku odraza. Rezultati djelomično potvrđuju dosadašnja iskustva i znanstvene spoznaje o disciplini skok u dalj, a novi elementi daju detaljniji doprinos razumijevanju pripreme za odraz i izvedbe odraza kod skakača u dalj.

Ključne riječi: 3D kinematička analiza, položaj tijela u pripremi za odraz, efikasnost odraza

SUMMARY

The study was conducted with the aim of determining the influence of the kinematic parameters of approach and take-off on the long jump performance as well as the influence of new variables on the length of the long jump.

The long jumpers ($n=14$) were on average 27.28 ± 3.95 years old, performed a total of 114 long jumps at two international competitions, and 61 successful attempts were analyzed in the study. According to the standards of the APAS (Ariel Performance Analysis System) procedure, a 3D kinematic analysis was performed and 16 kinematic variables were prepared for further analysis.

The regression analysis of the influence of the kinematic variables on the effective length of the long jump revealed 6 statistically significant variables explaining 73% of the variance in the results. These are: take-off vertical velocity (V_y), the horizontal velocity in the penultimate step (V_{x2}) take-off horizontal velocity (V_x), the height of the body's center of gravity (CG) at the end of the take-off, percentage of lowering of the centre of gravity in penultimate step ($H_{\%3-2}$) and the distance from the knee projection and foot (D_{ks}).

The findings confirmed that the variables determined by motor abilities of jumpers and the variables that determine technical jump performance have a strong influence on long jump performance (jump length). Approach velocity and take of horizontal velocity are mainly determined by motor skills. The technical part of the preparation for take-off is determined by the higher position of the CG in the penultimate step and the smaller distance of the projection of the knee of the swinging leg and the take-off foot at the beginning of the take-off.

The results partly confirm earlier findings and scientific knowledge about the discipline of long jump, and new variables provide a more detailed contribution to the understanding of long jump execution.

Key words: 3D kinematics, body position in preparation for take-off, take-off efficiency

UVOD

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 atletske skokovima omogućuje registraciju prostorno-vremenskih pomaka bilo koje točke na tijelu ili pojedinih ekstremiteta sportaša, njihove brzine i ubrzanja, kutove i kutne brzine u zglobnim sustavima (7,10,11). Visoka je povezanost brzine zaleta i rezultata u skoku u dalj te skakači teže što manjem gubitku brzine u pripremi za odraz. Upravo iz tog razloga istraživanja skoka u dalj usmjerena su završnom dijelu zaleta – dužini pretposljednog i posljednjeg koraka te smanjenju brzine u tom dijelu zaleta. Omjer duljine posljednja dva koraka zaleta najčešće rezultira kraćim posljednjim korakom za 7 - 13% (14).

Najveća je povezanost između duljine skoka i brzine zaleta ($r=0,94$), uzletne brzine ($r=0,76$), i trajanja odraza ($r=-0,83$) koje je negativnog karaktera. 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 težišta tijela (1, 3, 9). Trajanje odraza u skoku u dalj iznosi 115 – 127 ms (3,7,9,12,14). Faza odraza dijeli se na kompresijsku i ekstenzijsku fazu. Kompresijska faza traje 47,2 ms i ekstenzijska 79,6 ms, što dovodi do ukupnog trajanja odraza od 126,8 ms (2). U kompresijskoj fazi odraza, kod koje dominira ekscentrična mišićna kontrakcija skakači produciraju preko 64% vertikalne brzine odraza (6,12). Vrijednost kuta amortizacije kod vrhunskih skakača iznosi $137,4^\circ$ (13,18). Tijekom odraza okretni moment će tijelo okrenuti prema naprijed, stoga skakači u pripremi za odraz stopalo postavljaju ispred projekcije TT i time stvaraju kut tijela na početku odraza. Vrijednosti kuta tijela na početku odraza nalaze se između $54,0^\circ$ do $56,6^\circ$, dok se vrijednost kuta tijela na kraju odraza nalazi između $71,2^\circ$ do $74,8^\circ$ (7,10,14,18). Kut uzleta ima srednju do veliku povezanost s duljinom skoka u dalj i njegova vrijednost je

često preko 20° , a kod vrhunskih skakača iznosi od $22,7^\circ$ do $24,5^\circ$ (4,13,18). Iako se iz provedenih studija ne može utvrditi jedinstveni koncept pripreme za odraz koji bi trebali slijediti svi skakači, jer je on djelomično povezan s individualnim karakteristikama skakača (morfološka obilježja, motoričke sposobnosti), i dalje postoji prostor u kojem se istraživanjem može doći do jasnijih nalaza koji bi doprinijeli boljem razumijevanju pripreme za odraz.

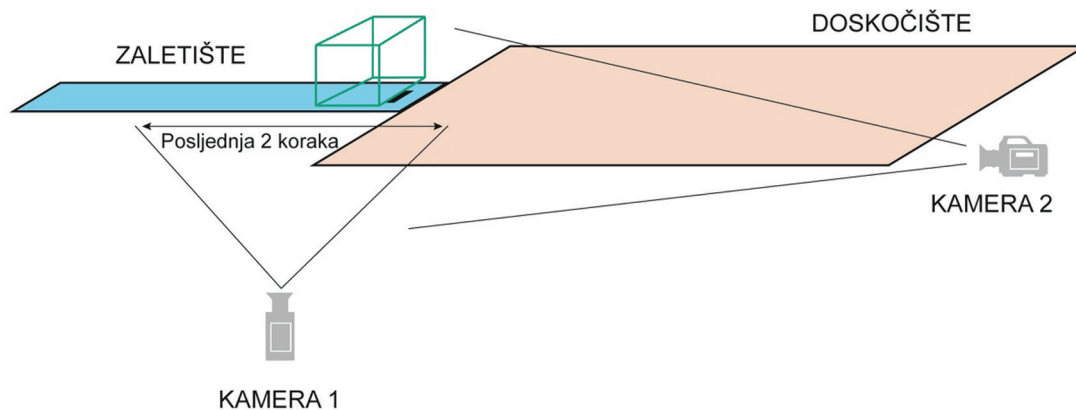
Problem ovog istraživanja je proučavanje pripreme za odraz i izvedbe odraza kao ključnih faza za izvođenje uspješnog skoka. To se posebno odnosi na pravilan položaj tijela u pripremi za odraz zbog smanjenja gubitka horizontalne brzine i generiranja što veće horizontalne brzine odraza. Cilj istraživanja je utvrđivanje utjecaja standardnih i nekih novih kinematičkih varijabli zaleta i odraza na duljinu skoka u dalj.

ISPITANICI I METODE

Uzorak ispitanika činilo je 14 vrhunskih i kvalitetnih skakača u dalj međunarodnog ranga dobi $27,28 \pm 3,95$ godina, tjelesne visine $182,42 \pm 4,01$ cm, tjelesne mase $76,12 \pm 5,49$ kg te je u vrijeme istraživanja prosjek njihovih najboljih rezultata bio $811,35 \pm 33,69$ cm.

Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu izvršeno je na atletske natjecanjima IAAF Grand Prix 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 $1/400$, a za kalibraciju prostora korišten je referentni okvir veličine $180 \times 180 \times 90$ cm (slika 1). Videozapisi su vremenski usklađeni, a za analizu izabrane sekvence posljednja tri kontakta stopala s podlogom i prva faza leta za ukupno 61 regularan pokušaj – entitet. Obrada videozapisa i izračunavanje kinematičkih varijabli provedeni su programom Ariel Performance Analysis System (APAS, Ariel Dynamics inc., USA).

Na svakoj slici digitalizirano je 18 anatomskih lokacija kojima je opisan 14-segmentni model skakača u dalj (5). DLT



Slika 1. Položaj kamera i kalibracijskog okvira
Figure 1. Positioning the camera and calibration frame

(*Direct Linear Transformation*) algoritam je primijenjen za pretvorbu u 3D prostor, a filtriranje trodimenzionalnih koordinata izvršeno je *Cubic Spline* algoritmom snagom između 1 i 2.

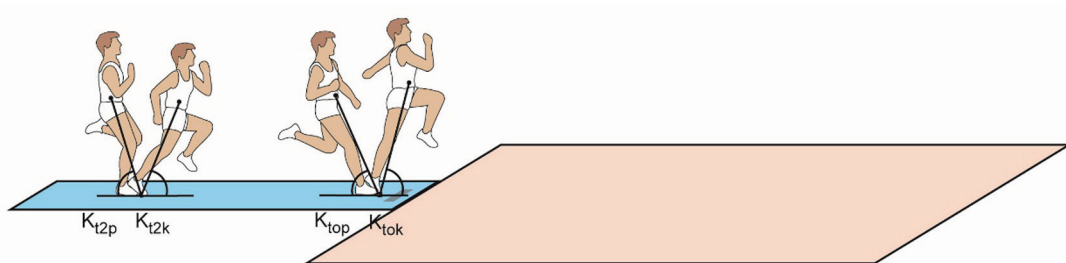
Varijable istraživanja koje se odnose na horizontalnu i vertikalnu brzinu TT u odrazu često se koriste u proučavanju skoka u dalj i dokazano je da imaju veliku povezanost s duljinom skoka. U ovom istraživanju, osim varijabli brzine definirane su i varijable položaja tijela u pripremi za odraz i odrazu (slika 2) koje se rjeđe koriste ili do sada uopće nisu istraživane (slika 3).

Varijable istraživanja su: D_{ef} – efektivna duljina skoka u dalj (cm), V_{xp} – horizontalna brzina na početku odraza ($m \cdot s^{-1}$), V_x – horizontalna brzina na kraju odraza ($m \cdot s^{-1}$), V_y – vertikalna brzina na kraju odraza ($m \cdot s^{-1}$), V_{x2} – horizontalna brzina u pretposljednem koraku ($m \cdot s^{-1}$), D_{pp} – duljina pretposljednjeg koraka (cm), D_p – duljina posljednjeg koraka (cm), $H_{\%3-2}$ – spuštanje težišta tijela u pretposljednem koraku (%), K_{k3} – kut amortizacije u trećem koraku prije odraza ($^{\circ}$), K_{k2} – kut amortizacije u pretposljednem koraku ($^{\circ}$), K_{am} – kut amortizacije u odrazu ($^{\circ}$), K_{t2p} – kut tijela na početku pretposljednjeg koraka ($^{\circ}$), K_{t2k} – kut tijela na kraju pretposljednjeg koraka ($^{\circ}$), K_{top} – kut tijela na početku odraza ($^{\circ}$), K_{tok} – kut tijela na kraju odraza i D_{ks} – udaljenost projekcije koljena od točke oslonca na početku odraza (cm).

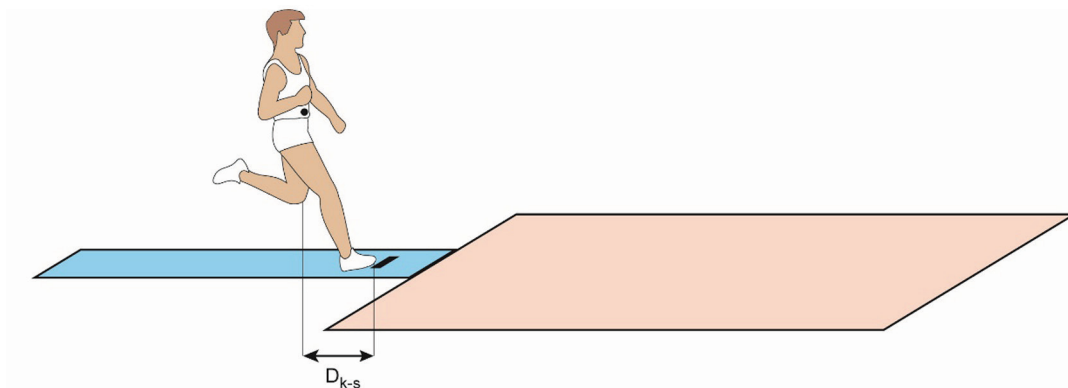
Normalnost distribucije varijabli izračunata je Kolmogorov-Smirnovljevim testom. Utjecaj prediktorskih varijabli na duljinu skoka izračunat je multiplom regresijskom analizom pri čemu je za određivanje optimalnog skupa prediktora korištena eliminacija unatrag (engl. *backward stepwise*). Statistička analiza provedena je programskim paketom Statistica, verzija 13.5.0.17 (TIBCO Software Inc, Palo Alto, CA, USA). Razina statističke značajnosti postavljena je na razinu $p < 0,05$.

REZULTATI I DISKUSIJA

Deskriptivni pokazatelji zaleta i odraza prikazani su u tablici 1. te je prosječna vrijednost efektivnih analiziranih skokova (D_{ef}) iznosila 766,72 cm uz maksimalnu vrijednost od 827,08 cm. Maksimalna pojedinačna vrijednost horizontalne brzine u pretposljednem koraku (V_{x2}) iznosila je $11,24 m \cdot s^{-1}$, uz prosječnu vrijednost na početku odraza (V_{xp}) $9,51 m \cdot s^{-1}$ i na kraju odraza (V_x) $8,42 m \cdot s^{-1}$. Tijekom trajanja odraza horizontalna brzina je prosječno smanjena za 11,46% te je gubitak horizontalne brzine u odrazu dominantno usmjeren na generiranje vertikalnog impulsa odraza i što veće vertikalne brzine (6,7,10,14). Duljine pretposljednjeg i posljednjeg koraka u skladu su s rezultatima ostalih istraživanja te je posljednji korak za 8,11% kraći od pretposljednjeg koraka (12,13,18).



Slika 2. Kut tijela na početku i kraju pretposljednjeg koraka i odraza
Figure 2. Body inclination angle at the second-last step and at take-off



Slika 3. Horizontalna udaljenost projekcije koljena i stopala na početku odraza
Figure 3. Horizontal distance between knee projection and foot at touch-down

Tablica 1. Deskriptivna statistika kinematičkih varijabli skoka u dalj

Table 1. Descriptive statistics of the kinematic parameters in the long jump

	AS	Min	Maks	SD
D_{ef} (cm)	766,72	715,80	827,08	23,96
V_x (m·s ⁻¹)	8,42	7,80	9,37	0,33
V_y (m·s ⁻¹)	3,37	2,68	3,99	0,24
V_{xp} (m·s ⁻¹)	9,51	9,02	10,43	0,31
V_{x2} (m·s ⁻¹)	10,02	9,37	11,24	0,35
D_{pp} (cm)	235,36	201,68	271,61	15,43
D_p (cm)	215,51	191,82	253,13	13,17
H_o (cm)	115,65	109,16	122,82	3,60
$H_{\%3-2}$ (%)	-7,32	-11,78	-0,98	2,20
K_{k3} (°)	139,59	112,80	164,47	10,91
K_{k2} (°)	117,74	95,21	128,57	6,87
K_{am} (°)	142,12	124,34	159,92	6,68
K_{t2p} (°)	70,22	57,02	89,71	7,02
K_{t2k} (°)	61,71	50,97	69,80	4,22
K_{top} (°)	56,55	48,01	66,71	3,68
K_{tok} (°)	74,75	69,78	80,93	2,79
D_{ks} (cm)	64,18	42,60	90,99	10,31

Legenda: AS – aritmetička sredina, Min – minimalna vrijednost, Maks – maksimalna vrijednost, SD – standardna devijacija

Korištenjem regresijske analize metodom eliminacije unatrag (*backward stepwise*) broj varijabli reduciran je na 6 statistički značajnih, uz multiplu korelaciju $R=0,85$ i objašnjenje 73% varijance efektivnog rezultata u skoku u dalj (tablica 2).

Prema rezultatima regresijske analize (tablica 2) visok utjecaj na duljinu skoka ima varijabla vertikalne brzine TT (V_y) na kraju odraza. Pozitivan utjecaj vertikalne brzine (V_y) na duljinu skoka u dalj (D_{ef}) očekivan je ipovećanje njenih vrijednosti uz zadržavanje jednake horizontalne brzine uzrokuje rast kuta uzleta. Horizontalna brzina u pretposljednem koraku (V_{x2}) utječe na duljinu skoka u dalj (D_{ef}) pozitivno i statistički značajno. Utjecaj horizontalne brzine na kraju odraza (V_x) na efektivnu duljinu skoka u dalj nešto je manji od utjecaja vertikalne brzine odraza (V_y) i horizontalne brzine u pretposljednem koraku. Horizontalna brzina se tijekom odraza usmjerava u vertikalnu, te je upravo veće smanjenje horizontalne brzine odraza u relaciji s većim generiranjem vertikalne brzine odraza (7,10,13).

Visina TT na kraju odraza (H_o) ima pozitivan utjecaj na duljinu skoka u dalj i najviše je određena visinom tijela skakača, a jednim dijelom i tehničkom komponentom izvedbe odraza. Budući da se visina TT na kraju odraza nalazi u početnim uvjetima kojima se definira parabola TT u fazi leta (uz resultantnu brzinu i kut uzleta), njezin visoki utjecaj na duljinu skoka u dalj je očekivan (7,10,17).

Statistički značajan negativan utjecaj pronalazi se između varijable horizontalne udaljenosti između projekcije koljena i stopala na početku odraza (D_{ks}) i zavisne varijable. U ovom slučaju skakači koji su postizali dulje skokove imali su manju vrijednost varijable D_{ks} jer kada se koljeno zamašne noge na početku odraza nalazi bliže stopalu odrazne noge tada će zamah biti brži i efikasniji te povoljnije djelovati na skraćivanje ekscentrične faze mišićne kontrakcije i pridonijeti učinkovitijoj izvedbi koncentrične faze odražavanja.

Negativan utjecaj na duljinu skoka u dalj ima varijabla koja je određena spuštanjem TT u pretposljednem koraku u odnosu na treći korak prije odraza ($H_{\%3-2}$). Skakači koji

Tablica 2. Rezultati regresijske analize kinematičkih varijabli s efektivnom duljinom skoka u dalj

Table 2. Results of the regression analysis of the kinematic variables with the effective long jump distance

R=0,85; R ² =0,73; F(6,54)=23,72; p<0,00; SEE=13,24										
Dv: D_{ef}	β	β_c	B	B_c	r_p	r	Tol	r-sq	t (54)	p
<i>Intercept</i>			-177,59	93,75					-1,89	0,06
V_x	0,27	0,10	20,11	6,98	0,36	0,46	0,56	0,44	2,88	0,01*
V_y	0,44	0,08	43,86	8,15	0,59	0,27	0,75	0,25	5,38	0,00*
V_{x2}	0,44	0,09	30,29	6,33	0,55	0,65	0,60	0,40	4,79	0,00*
H_o	0,46	0,09	3,03	0,59	0,58	0,12	0,66	0,34	5,17	0,00*
$H_{\%3-2}$	-0,28	0,09	-3,05	0,92	-0,41	-0,23	0,70	0,30	-3,29	0,00*
D_{ks}	-0,33	0,08	-0,77	0,18	-0,51	-0,22	0,87	0,13	-4,31	0,00*

(R) multipla korelacija, (R²) koeficijent determinacije, (F) F- vrijednost kojom se testira statistička značajnost multiple korelacije, (SEE) standardna pogreška prognoze, (DV) zavisna varijabla, (Intercept) vrijednost zavisne varijable za nulte vrijednosti nezavisnih, (β) standardizirani regresijski koeficijenti, (r_p) parcijalne korelacije, (r) korelacije zavisne varijable s nezavisnim, (Tol) neobjašnjeni dio varijance svake prediktorske varijable u odnosu na ostale iz skupa prediktorskih varijabli, (r-sq) predstavlja koeficijent determinacije svake prediktorske varijable, (β_c) standardne pogreške standardiziranih regresijskih koeficijenata, (B) nestandardizirani regresijski koeficijenti, (B_c) standardne pogreške nestandardiziranih regresijskih koeficijenata, (t) t-vrijednost kojom se testira značajnost regresijskih koeficijenata, (p) razina značajnosti, * statistička značajnost p<0,05

su manje spustili TT u preposljednjem koraku imali su dulje skokove u dalj. U ovom slučaju to bi značilo da nije potrebno previše produljiti preposljednji korak zaleta i dodatno spustiti TT jer to može negativno utjecati na očuvanje horizontalne brzine zaleta, a ne donosi značajnu povezanost s većim kutom uzleta u odrazu (16).

Izračunata regresijska jednadžba sadrži šest varijabli koje se mogu podijeliti u dvije skupine: varijable brzine i varijable tehnike. Horizontalna brzina u preposljednjem koraku (V_{x2}) je samostalna varijabla brzine, a ostale varijable izrazito su povezane s tehnikom. Iako se u regresijskoj jednadžbi nalaze i varijabla vertikalne brzine odraza (V_y) i horizontalne brzine odraza (V_x), njihova vrijednost zavisi od izvedbe tehničkih elemenata u pripremi za odraz. Zbog toga se u jednadžbi nalaze dvije varijable koje označuju položaj TT u preposljednjem koraku ($H_{\%3-2}$) i na kraju odraza (H_o). Prva naglašava razinu spuštanja TT u preposljednjem koraku kao pripremu vertikalnog usmjeravanja TT, a druga visoki završni položaj TT na kraju odraza. Visoki položaj TT na kraju odraza treba se osigurati uspravnim položajem tijela i dobrim zamahom, tj. podizanjem zamašne noge i ruku. Varijabla udaljenosti projekcije koljena i stopala na početku odraza (D_{ks}) nova je varijabla u proučavanju skoka u dalj i njezin doprinos duljini skoka sadrži tehničku komponentu pripreme za odraz. Za dugačak skok u dalj potrebna je visoka brzina zaleta i izvrsna tehnika u pripremi za odraz koja će osigurati veliki porast visine TT u odrazu i minimizirati gubitak brzine odraza, što potvrđuje podjelu kinematičkih varijabli na one koje definira brzina i druge koje definiraju tehnički ispravan položaj tijela u pripremi za odraz (9,10).

ZAKLJUČAK

Prema očekivanjima, najveći utjecaj na duljinu skoka u dalj imaju vertikalna brzina (V_y), visina TT na kraju odraza (H_o), horizontalna brzina u preposljednjem koraku (V_{x2}) i horizontalna brzina na kraju odraza (V_x). Pri analizi utjecaja novih varijabli na duljinu skoka u dalj, dvije su iskazale statističku značajnost, obje negativnog predznaka. Značajan negativan utjecaj na duljinu skoka u dalj ima varijabla određena spuštanjem TT u preposljednjem koraku u odnosu na treći korak prije odraza ($H_{\%3-2}$). Također, značajan negativan utjecaj pronalazi se između varijable horizontalne udaljenosti između projekcije koljena i stopala na početku odraza (D_{ks}) i zavisne varijable efektivne duljine skoka u dalj (D_{ef}). Veća udaljenost projekcije koljena zamašne noge i stopala odrazne noge negativno utječe na učinkovitost odraza, a time i na duljinu skoka u dalj.

Horizontalna brzina zaleta važna je, no za ostvarivanje optimalne duljine skoka u dalj presudna je tehnička priprema skakača u dalj u posljednjim koracima zaleta koja se očituje preciznoj regulaciji položaja tijela radi zadržavanja horizontalne brzine uz generiranje što veće vertikalne brzine odraza. Ograničenje ovog istraživanja odnosi se na snimanje video materijala s 50 Hz, ali i na ograničenje atletskim pravilima da se u natjecateljskim uvjetima koriste napredna biomehanička odijela i sustavi za analizu koji bi postupak akvizicije i ekstrakcije kinematičkih podataka učinili pouzdanijim i bržim. Daljnje proučavanje skoka u dalj modernim tehnologijama može pružiti više novih spoznaja koje mogu biti podjednako korisne znanstvenicima i trenerima u svakodnevnom radu.

Literatura

1. Bridgett LA, Linthorne NP. Changes in long jump take-off technique with increasing run-up speed. *J Sports Sci.* 2006; 24(8):889–97.
2. Campos J, Gàmez J, Encarnación A, Gutiérrez-Dávila M, Rojas J, Wallace ES. Three-dimensional kinematics during the take-off phase in competitive long jumping. *Int J Sports Sci Coach.* 2013; 8(2):395–406.
3. Çetin E, Özdemir Ö, Özdöl Y. Kinematic analysis last four stride lengths of two different long jump performance. *Procedia Soc Behav Sci.* 2014; 116:2747–51.
4. Čoh M, Žvan M, Kugovnik O. Kinematic and biodynamic model of the long jump technique. In: Hurtado EG, ed. *Kinematics.* Rijeka: IntechOpen; 2017. pog. 6.
5. Dampster W. Space requirements of the seated operator. WADC Technical Report, Ohio: Wright-Patterson Air Force Base; 1955. str. 55-159.
6. Graham-Smith P, Lees A. A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *J Sport Sci.* 2005; 23(9):891–903.
7. Hay JG, Miller JA, Canterna RW. The techniques of elite male long jumpers. *J Biomech.* 1986; 19(10):855–66.
8. Hay JG, Miller JA. Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump. *Int J Sport Biomech.* 2016; 1(2):174–84.
9. Hay JG, Nohara H. Techniques used by elite long jumpers in preparation for takeoff. *J Biomech.* 1990; 23(3):229–39.
10. Hay JG. Citius, altius, longius (faster, higher, longer): the biomechanics of jumping for distance. *J Biomech.* 1993; 26 Suppl 1:7–21.
11. Jaitner T, Mendoza LRM, Schöllhorn WI. Analysis of the long jump technique in the transition from approach to takeoff based on time-continuous kinematic data. *Eur J Sport Sci.* 2001;1:1–12.
12. Lees A, Graham-Smith P, Fowler N. A Biomechanical analysis of the last stride, touchdown, and characteristics of the men's long jump. *J Appl Biomech.* 1994; 11:142-62.
13. Mendoza L, Nixdorf E. Biomechanical analysis of the horizontal jumping events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics.* 2011; 26(3):25-60.
14. Müller H, Hommel H. Biomechanical Research Project at the VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary Report. *New Studies in Athletics.* 1997; 12(2-3):43-73.
15. Nixdorf E, Brüggemann G-P. Biomechanical analysis of the long jump. In: Brüggemann GP, Glad B, ed. *Scientific research project at the Games of the XXIVth Olympiad – Seoul 1988.* Monaco: International Athletic Federation; 1990. str. 263-301.
16. Panoutsakopoulos V, Papaiakevou GI, Katsikas FS, Kollias IA. 3D Biomechanical analysis of the preparation of the long jump take-off. *New Studies in Athletics.* 2010; 25(1):55-68.
17. Řídká-Drdácká E. A Mechanical model of long jump and its application to a technique of preparatory and takeoff phases. *Int J Sport Biomech.* 2016; 2(4):289–300.
18. Tucker CB, Bissas A, Merlino S. Biomechanical report for the IAAF World Indoor Championships 2018: Long Jump Men. Birmingham, UK: International Association of Athletics Federations; 2019.