



USPOREDNA ANALIZA ODABRANIH KINEMATIČKIH PARAMETARA U IZVEDBAMA ZGRČENOG SALTA NAPRIJED S RAZLIČITIH ODRAZNIH POVRŠINA

KINEMATICAL ANALYSIS OF TWO TYPES OF TUCKED SOMERSAULT FORWARD PERFORMED FROM DIFFERENT SPRING BASIS

Tomislav Krističević, Jasenka Wolf-Cvitak, Lana Ružić

Kineziološki fakultet, Sveučilišta u Zagrebu

SAŽETAK

Cilj ovog rada bila je usporedna analiza tehnike izvođenja salta naprijed s odskočne daske i velikog trampolina, te utvrđivanje sličnosti između odabranih izvedbi salta. Usporedba se radila u osnovnim parametrima u fazi odraza, koji su odgovorni za determiniranje oblika trajektorije težišta tijela u fazi leta i iniciranje rotacije. Također, jedan od ciljeva ovog istraživanja bilo je determiniranje različitosti između analiziranih elemenata koje su posljedica različitih odraznih podloga i specifičnosti izvedbe u pojedinim sportovima.

Uspoređivane su izvedbe salta koje su demonstrirale vrhunske hrvatske natjecateljice iz odabranih sportova, a u analizi gibanja korišten je Ariel Performance Analysis Sistem.

Uočena je različitost oblika trajektorije težišta tijela u fazi leta kod salta koja se izvode odrazom nakon zaleta u odnosu na one izvedbe salta čijem odrazu ne prethodi zalet. Naglašeno je, da se zbog specifičnih radnji koje prethode odrazu, svake od analiziranih izvedbi salta i različitih reakcija odraznih podloga sa kojih se izvode odrazi, razlikuju distribucije rotacije tijela u fazi leta.

Sva analizirana salta karakteriziraju i opisuju isti biomehanički parametri i veličine, ali da je ono što ih međusobno razlikuje i karakterizira svaku pojedinu izvedbu, je specifičan odnos tih parametara i veličina. Taj odnos spomenutih parametara i veličina posljedica je specifičnosti uvjeta u kojima se ti elementi izvode u pojedinim sportovima.

Ključne riječi: biomehanika, kinematika, salto naprijed, skokovi u vodu, trampolin

SUMMARY

The aim of the study was a parallel analysis of the somersault forward performance technique, performed from springboard and trampoline. The object of this research was determination of similarities between selected somersault performances in fundamental (basic) parameters in the spring phase, which are responsible for determining a form of the body gravity centre trajectory in the flight phase and the rotation initiation. Further more, one of the aims of this research was to determine diversities between analysed elements, which were the consequence of different spring bases and a specific performance quality in certain sports.

Somersault performances demonstrated by top Croatian women competitors in selected sports were compared. The APAS (Ariel Performance Analysis System) was used for movement analysis.

Differences were noticed in body gravity centre trajectory form, during the somersault flight phase, performed by the spring after running, and somersault performances without running before the spring. Because of the specific movements proceeding the spring, every of the analysed somersault performances and different reactions of spring bases differentiated a distribution of the body rotation in the flight phase.

The same biomechanics parameters and dimensions characterised all analysed somersault performances. However, each the performance had a specific relation between those parameters and dimensions. The relation of the above mentioned parameters and dimensions was a consequence of the specific conditions in which those elements were performed in certain sports.

Key words: biomechanics, kinematics, somersault forward, diving, trampoline

UVOD

Biomehanička istraživanja su naročito zastupljena u onim sportovima gdje tehnika izvedbe nekog gibanja ima dominantni utjecaj na konačni rezultat (7). Veliki je broj biomehaničkih analiza proveden u području tehničkih atletskih disciplina gdje je izuzetno važna kvaliteta i tehnička ispravnost izvedbe pokreta (2,4,5). Osim spomenutih atletskih disciplina brojni su sportovi u kojima su određeni elementi, bilo kao samostalni ili kao dijelovi natjecateljskih kompozicija, definirani u obliku složenih dinamičnih stereotipa, npr. gimnastika, skokovi u vodu, akrobatika na traci, trampolin, akrobatski rock'n'roll i drugi.

U svim navedenim sportovima javljaju se slični akrobatski elementi koji se gradiraju od onih najjednostavnijih do onih najkompleksnijih koji se sastoje od višestrukih kombiniranih rotacija oko dvije osi tijela. U svim tim sportovima, u onom akrobatskom djelu, dominiraju razni oblici salta.

Prema definiciji, salta su elementi kod kojih tijelo u bezpotpornoj fazi rotira za najmanje 360 stupnjeva oko transverzalne ili frontalne osi tijela. Salto naprijed je element kod kojeg se tijelo, slobodno u prostoru, okreće prema naprijed oko transverzalne osi za najmanje 360 stupnjeva. Ovisno o položaju tijela za vrijeme rotacije, salta naprijed se dijele na: zgrčena, sklonjena i pružena. Za zgrčeni salto naprijed karakteristično je da je tijelo u fazi leta (rotacije) maksimalno skupljeno tj. da je tijelo u pretklonu, noge pogrčene i u prednoženju uz tijelo, a ruke ih obuhvaćaju ili pridržavaju (8).

Iako se salta u različitim varijantama izvedbe mogu pronaći u brojnim sportovima, ovdje su odabrana dva sporta kojima je zajedničko da se svi elementi izvode odrazom sa izuzetno elastičnih podloga. Skokovi u vodu odrazom sa odskočne daske (iako odraz može biti i sa tornja) i akrobatika na velikom trampolinu.

Skokovi u vodu su, što se tiče akrobatike, specifični iz nekoliko razloga. Osim što se završni dio izvedbe skokova odvija 1 do 10 metara niže od točke odraza, svi elementi završavaju ulaskom u drugačiji medij (vodu), što za sobom povlači drugačiju distribuciju rotacije u fazi leta i drugačiju pripremu za završetak elementa. Većina skokova, odnosno svi sa većih visina, završavaju ulaskom u vodu na glavu. No bez obzira na "više" rotacije u skokovima u vodu, kod mlađih kategorija izvodi se zgrčeni salto naprijed ulaskom u vodu na noge, a sam salto u takvom obliku temeljni je dio svake bazične obuke i daljnje nadgradnje skokova svakog skakača u vodu.

Akrobatika na trampolinu je jedan od mlađih sportova, a olimpijski je sport od 2000. godine (Olimpijske igre u Sidney-u). Iako se akrobatika na trampolinu razvila u samostalni i olimpijski prihvaćen sport, ona je prisutna kao sastavni dio treninga i obuke sportaša u vjerojatno svim sportovima gdje postoje elementi akrobatike i duže faze boravka tijela u bezpotpornoj fazi. Od gimnastičara, skakača u vodu, snowbordera, skakača na skijama pa do padobranaca, svi barem dio svog treninga provode na toj spravi koja omogućava maksimalnu visinu leta i dužinu boravka u bezpotpornoj fazi. Skakači na trampolinu izvode na natjecanjima i četverostruke rotacije u zgrčenoj poziciji

tijela ali izvođenje jedne takve rotacije podrazumijeva tehnički kvalitetnu izvedbu salta. Jednostruki zgrčeni salto naprijed se ne izvodi na samim natjecanjima, ali je kvaliteta višestrukih rotacija koje su nužne u nastupu natjecatelja, direktno ovisna o kvaliteti izvedbe osnovnog oblika salta naprijed.

CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je usporedna analiza tehnike izvođenja zgrčenog salta naprijed u različitim sportovima sa različitim odraznih pomagala.

Odabrani kinematički parametri bit će analizirani u izvedbama zgrčenog salta naprijed sa daske visine 1m (skokovi u vodu) i salta na velikom trampolinu (akrobatika na trampolinu)

Rezultati ovog istraživanja trebali bi ukazati na postojanje sličnosti između odabranim izvedbama salta, u osnovnim parametrima faze odraza. Sličnosti bi trebale biti prisutne kod onih parametara faze odraza koji determiniraju oblik trajektorije težišta tijela u fazi leta i iniciranje rotacije. Također, od rezultata ovog istraživanja očekuje se da ukažu na različitosti između analiziranih izvedbi salta naprijed. Očekivane različitosti trebale bi biti posljedica različitih odraznih podloga i specifičnosti izvedbe salta u pojedinim sportovima.

Obzirom da se doskoci kod analiziranih izvedbi salta naprijed u odabranim sportovima razlikuju u mnogo čemu pa i u samom mediju doskoka, faza doskoka nije bila predmet ovog istraživanja.

METODE

Prikupljanje podataka

Odabrane izvedbe zgrčenog salta naprijed demonstrirale su vrhunske hrvatske natjecateljice iz gimnastike i skokova u vodu dobi 24 i 19 godina. Obje ispitanice su bile članice nacionalnih vrsta u spomenutim sportovima. Sportašice su, na posebnom treningu organiziranom za potrebe prikupljanja podataka, izvele po pet zgrčenih salta naprijed. Naknadnim pregledavanjem video materijala grupa međunarodnih sudaca i iskusnih trenera odabrala je tehnički najkvalitetnije izvedbe za daljnju analizu.

Snimanje video materijala je izvršeno s tri video kamere s brzinom od 50 slika u sekundi. Kamere su bile kružno postavljene oko subjekta koji je izvodio gibanje pod kutovima od 90 stupnjeva u odnosu jedna na drugu (9,10).

Za vrijeme snimanja salta na trampolinu, zbog velike elastičnosti odrazne površine trampolina i propadanja gimnastičarke u nju, da bi se izbjeglo "gubljenje" nogu prilikom odraza i doskoka, kamere su bile postavljene 4 metra iznad površine trampolina i usmjerene prema dole što je omogućilo neprekidan pogled na sve dijelove tijela prilikom izvođenja elementa (6).

Prilikom snimanja skokova sa daske u vodu dvije su kamere postavljene na visini u kojoj su objektivni bili u razini sternuma skakačice koja stoji na dasci. Treća kamera postavljena je na povišenju u visini očekivane amplitude leta. Prije samog snimanja, s ciljem precizne

kalibracije prostora i zadovoljavanja pretpostavki za kvalitetnu provedbu trodimenzionalne analize, sa sve tri kamere snimljen je referentni okvir dimenzija 180x 80x 90 cm. Referentni okvir definira orijentaciju koordinatnog sustava koji je bio korišten pri analizi podataka pa je redosljed učitavanja točaka s okvira bio takav da se os x podudara s dužinom, os y s visinom a os z s dubinom analiziranih gibanja.

Obrada podataka

Obrada podataka za potrebe ovog rada izvršena je pomoću APAS (Ariel Performance Analysis Sistem) procedure uvažavajući sve APAS-ove standarde ali i specifičnosti koje su nametali modeli i stereotipi gibanja koji su bili predmet ove analize (1, 11).

Nakon prikupljanja podataka, snimanjem izvedbi svih odabranih motoričkih stereotipa i odabira tehnički najkvalitetnijih, obrada podataka provedena je kroz niz faza standardnih za APAS: *frame grabbing*, digitalizacija, transformacija, filtriranje, izračunavanje kinematičkih i kinetičkih veličina i prezentacija podataka.

REZULTATI I RASPRAVA

Efikasnost bilo koje varijante salta obilježavaju njegove tri osnovne karakteristike: trajektorija, rotacija i izvedba (7).

U tom smislu, za potrebe ovog istraživanja analizirani su parametri odraza koji determiniraju oblik i dužinu trajektorije centra težišta tijela (TT), te iniciranje rotacije neophodne za izvođenje analiziranih elemenata. Također, izvršena je i analiza osnovnih parametara faze leta uključujući i parametre koji opisuju distribuciju rotacije.

Usporedna analiza parametara faze odraza

Različite trajektorije kretanja TT u fazi leta kod analiziranih salta zasigurno su posljedica različitih priprema za odraz, vrsta odraza i odraznih podloga (pomagala). Kako se oblik trajektorije svakog salta definira kao funkcija brzine (v_x i v_y), kuta odraza (\checkmark) i trajanja leta (7), u daljnjem tijeku analize uspoređeni su oni faktori koji određuju formiranje ovih parametara.

Parametri koji su direktno odgovorni za efikasnost odraza te oblik trajektorije TT u fazi leta su: horizontalna brzina (v_x), vertikalna brzina (v_y) u prvom i zadnjem kontaktu faze odraza, promjena brzine u fazi odraza (v) i kut odraza (Tablica 1).

Tablica 1. Biomehaničke veličine koje određuju oblik trajektorije težišta tijela u fazi leta

Table 1. Biomechanical parameters which determine the airborne phase trajectory of centre of gravity

Parametri	Oznaka	Skokovi uvodu	Akrobatika na trampolinu
Horizontalna brzina u prvom kontaktu (cm/s)	v_{x1}	255,78	27,33
Vertikalna brzina u prvom kontaktu (cm/s)	v_{y1}	-124,66	-447,9
Horizontalna brzina u zadnjem kontaktu (cm/s)	v_{xz}	120	1,22
Vertikalna brzina u zadnjem kontaktu (cm/s)	v_{yz}	467,4	458
Promjena horizontalne brzine za vrijeme odraza (cm/s)	$\square v_x$	-153,34	-26,11
Promjena vertikalne brzine za vrijeme odraza (cm/s)	$\square v_y$	592,06	905,9
Kut TT u odnosu na podlogu u prvom kontaktu ($^\circ$)	\checkmark TT1	78	83
Kut TT u odnosu na podlogu u zadnjem kontaktu ($^\circ$)	\checkmark TTz	99,5	90
Kut odraza ($^\circ$)	\checkmark v	75	89
Trajanje odraza (s)	tođ	0,46	0,34

Horizontalna brzina TT u prvom kontaktu faze odraza

Kako je i bilo za očekivati, u trenutku prvog kontakta s podlogom u fazi odraza, veća vrijednost horizontalne brzine bila je ostvarena kod salta sa daske u vodu koji se izvodi odrazom nakon zaleta. Tako je horizontalna brzina (v_x) TT u prvom kontaktu, izmjerena kod skokova u vodu sa odskočne daske iznosila 255,78 cm/s. Znatno manja horizontalna brzina u prvom kontaktu izmjerena je kod salta naprijed na velikom trampolinu i iznosila je 27,33 cm/s. Puno manja vrijednost horizontalna brzine TT kod ove izvedbe salta naprijed bila je očekivana, ako se uzme u obzir da samom odrazu kod salta na velikom trampolinu prethodi nekoliko jednostavnih vertikalnih skokova koji se u idealnim izvedbama izvode odrazom i doskokom u isto mjesto.

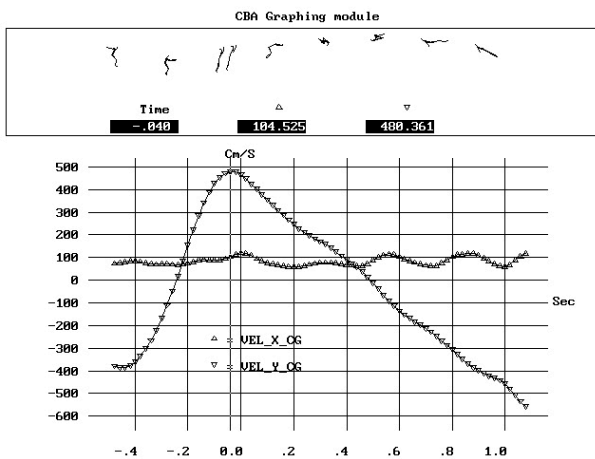
Vertikalna brzina TT u prvom kontaktu faze odraza

Zbog pripreme za odraz (doskok sa visine) vertikalna brzina (v_y) TT u prvom kontaktu kod odraza kod salta na velikom trampolinu iznosila je 447,9 cm/s što je vrijednost koja je primjerenija prvom kontaktu doskoka. Obzirom da saltu sa daske u vodu, osim horizontalnog zaleta, prethodi i visoki naskok izmjerena je također velika vrijednost vertikalne brzine s negativnim predznakom i iznosila je 124,66 cm/s (dijagram 1).

Ovakve velike vrijednosti vertikalne brzine u prvom kontaktu odraza i to negativnog predznaka (obzirom na orijentaciju koordinatnog sustava) moguće je objasniti ugibanjem odraznog pomagala, tehnikom odraza i

radnjama koje prethode odrazu (visoki naskok). Takav visoki naskok nužan je kod ovih izvedbi salta naprijed jer se radi o odrazu sa elastične podloge tj. odraznog pomagala koje je potrebno u prvoj fazi odraza maksimalno potisnuti kako bi se dobila što veća povratna reakcija podloge koja će onda rezultirati i velikim vrijednostima vertikalne brzine u završnoj fazi odraza. Zbog elastičnosti odrazne podloge tijelo nakon prvog kontakta sa podlogom nastavlja kretanje u istom smjeru (prema dolje). Kao posljedica ugibanja odrazne podloge, specifična je i tehnika odraza zbog čega nakon prvog kontakta sa podlogom u fazi odraza dolazi do znatnijeg grčenja koljena.

Dijagram 1. Promjene vrijednosti horizontalne i vertikalne brzine TT kod salta sa daske u vodu
Graph 1. The changes in horizontal and vertical velocity of centre of gravity during diving somersault



Trajanje faze odraza

Kod salta na trampolinu taj kontakt stopalima sa odraznom podlogom trajao je 0.34 s, a kod skokova u vodu sa odskočne daske (odraznog pomagala koje je više osciliralo po osi y) 0,46 s.

Horizontalna brzina TT u zadnjem kontaktu u fazi odraza

Na kraju faze odraza, odnosno u trenutku zadnjeg kontakta stopalima sa odraznom podlogom izmjerene su sljedeće vrijednosti horizontalne brzine TT. Ponovo je veća vrijednosti izmjerene kod salta koja se izvodi nakon horizontalnog zaleta, kod skokova u vodu 120,44 cm/s dok je kod salta na velikom trampolinu ta brzina iznosila svega 1,22 cm/s.

Vertikalna brzina TT u zadnjem kontaktu odraza

U istom trenutku (zadnjem kontaktu sa podlogom) izmjerene su i znatno veće vrijednosti vertikalne brzine nego u prvom kontaktu u fazi odraza. Veće vrijednosti vertikalne brzine u završnoj fazi odraza su očekivane obzirom da je jedan od ciljeva faze odraza generirati dovoljnu količinu vertikalne brzine (bilo transformacijom

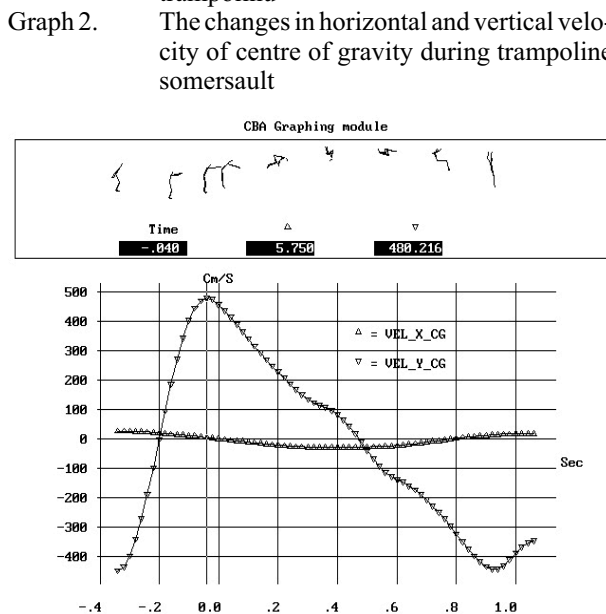
horizontalne brzine, bilo korištenjem odraznog pomagala) koja će omogućiti optimalnu visinu leta.

Vrijednost vertikalne brzine u trenutku odraza izmjerena kod izvedbe salta sa daske u vodu, koju karakterizira i veća postignuta visina TT u fazi leta mjerena od točke odraza (211,16 cm), iznosila je 467,40 cm/s. Kod salta naprijed na velikom trampolinu, također izvedenog sa odraznog pomagala i visokom fazom leta izmjerena je vertikalna brzina od 458 cm/s.

Promjene horizontalne i vertikalne brzine u fazi odraza

Veća promjena horizontalne brzine izmjerena je kod skokova u vodu sa daske 135,34 cm/s, dok je promjena vertikalne brzine iznosila 592,06 cm/s (Dijagram 1). Kod izvedbe salta na velikom trampolinu izmjerena je veća promjena vertikalne komponente brzine i iznosila je 905,9 cm/s, dok je istovremeno promjena horizontalne brzine iznosila 26,11 cm/s (Dijagram 2.).

Dijagram 2. Promjene vrijednosti horizontalne i vertikalne brzine TT u izvedbi salta na velikom trampolinu
Graph 2. The changes in horizontal and vertical velocity of centre of gravity during trampoline somersault



Položaj tijela u odnosu na podlogu za vrijeme trajanja odraza

Već je nekoliko puta spomenuto kako se odraz izvodi sa odraznih podloga koja imaju različita elastična svojstva (odskočna daska, veliki trampolin), te da samom odrazu prethode različite radnje koje imaju za cilj generirati određenu količinu horizontalne ili vertikalne brzine (zalet, poskok itd.). Zbog prethodno spomenutog, tijelo se u fazi odraza različito postavlja u odnosu na podlogu kod analiziranih izvedbi salta i na početku i na kraju faze odraza, kako bi maksimalno iskoristilo silu reakcije podloge i transformiralo generiranu horizontalnu brzinu u dovoljno vertikalne brzine.

Kut koji zatvara pravac koja prolazi kroz točku prvog kontakta s odraznom podlogom i TT u odnosu na odraznu površinu izmjeren kod analiziranog salta sa daske u vodu

iznosio je 78° dok je tijelo bilo u pretklonu, odnosno kut između trupa i natkoljenica iznosio je $109,3^\circ$.

Prilikom izvedbe salta naprijed na velikom trampolinu u prvom kontaktu stopala sa trampolinom tijelo je bilo pod kutom od 83° . U istom trenutku tijelo je bilo uspravnije tj. izmjereni kut između trupa i natkoljenica iznosio je 143° .

Kut odraza

Parametar koji je zasigurno najodgovorniji za oblik trajektorije leta je definiran vektorima komponenata brzina na kraju odraza tj. horizontalnom i vertikalnom brzinom u zadnjem kontaktu sa podlogom. U literaturi se ovaj parametar naziva i kut odraza.

Specifičan oblik bilo koje trajektorije TT u fazi leta izravna je posljedica vrijednosti horizontalne i vertikalne brzine generirane u fazi odraza (3).

Odradni kut od 75° kod izvedbe salta naprijed sa daske u vodu uvjetovan je odnosom vrijednosti horizontalne ($120,44$ cm/s) i vertikalne ($467,40$ cm/s) brzine. Ovakve velike vrijednosti horizontalne i vertikalne komponente brzine bilo je moguće ostvariti zahvaljujući horizontalnim zaletom koji prethodi odrazu, visokom vertikalnom poskoku koji predstavlja naskok u odraz i velikom elastičnom svojstvu odrazne podloge koja je dala veliki doprinos generiranju vertikalne komponente svojim povratnim impulsom. Posljedica ovakvih brzina u trenutku odraza i samog kuta odraza je viša i duža trajektorija od izvedbe salta na velikom trampolinu.

Kako saltu naprijed na velikom trampolinu prethodi visoki vertikalni skok u kojem je mala horizontalna komponenta brzine i kako se za vrijeme faze odraza dio te brzine transformira u vertikalnu brzinu, u trenutku odraza vrijednost horizontalne brzine je zanemariva ($1,22$ cm/s). S druge strane rezultat takvog visokog poskoka i reakcije elastične odrazne podloge je velika vrijednost vertikalne komponente brzine u trenutku odraza (458 cm/s). Omjer tih krajnosti u vrijednostima brzina, je odraz pod gotovo pravim kutom u odnosu na podlogu (89°), što ima za posljedicu visoku i usku trajektoriju TT u fazi leta.

Usporedna analiza parametara faze leta

Tablica 2. Biomehaničke veličine koje opisuju oblik trajektorije leta težišta tijela.

Table 2. Biomechanical parameters describing the shape of the trajectory of centre of gravity.

Parametri	Oznaka	Skokovi uvodu	Akrobatika na trampolinu
Maksimalna visina leta TT od podloge (cm)	max. h_{TTY}	226,18	209,42
Maksimalna visina leta TT od točke odraza (cm)	max. h_{TTYo}	211,16	199,38
Visina stopala u zadnjem kontaktu u odrazu (cm)	$h_{st.o}$	15,02	10,04
Dužina leta (cm)	L_x	157,09	4,17
Trajanje leta (s)	T_l	1,14	0,9

Trajektorije analiziranih salta znatno se razlikuju. Tu razliku moguće je uočiti i samim vizualnim pregledom trajektorija, no u analizi su obradom podataka, prikupljenih kinematičkom analizom odabranih izvedbi salta naprijed, izdvojene vrijednosti biomehaničkih veličina koje opisuju trajektoriju TT u fazi leta (Tablica 2.).

Visina leta TT

Maksimalna visina leta TT izmjerena kod salta sa daske u vodu iznosila $226,18$ cm. Kako se odraz izvodi sa elastičnog odraznog pomagala (daske) odrazna je površina oscilirala za vrijeme odraza pa je zadnji kontakt odraza bio na visini od $15,02$ cm. Visina leta ostvarena od zadnje točke odraza iznosila je $211,16$ cm što veća izmjerena relativna visina leta od druge analizirane izvedbe salta.

Kod izvedbe salta naprijed na trampolinu postignuta je maksimalna visina leta TT od $209,42$ cm. Kako je i trampolin elastična odrazna podloga koja oscilira po visini u fazi odraza, zadnji kontakt u odrazu bio je na visini od $10,04$ cm. Mjereno od zadnje točke odraza maksimalna ostvarena visina leta TT iznosila je $199,38$ cm.

Dužina leta

Osim više relativne visine leta (gledano od točke odraza), i duži let ostvaren je kod salta naprijed sa odskočne daske u vodu ($157,09$ cm). Razlog tome treba potražiti u činjenici da se ova izvedba salta izvodi odrazom koji slijedi nakon horizontalnog zaleta. Također važan je i podatak da je prvi kontakt stopala sa podlogom u doskoku (u ovom slučaju sa vodenom površinom) ostvaren u točki koja se nalazi 100 cm ispod razine zaleta i nulte točke od koje su mjereni horizontalni i vertikalni pomaci.

Uspoređujući dužine leta uočava se da je salto na velikom trampolinu puno kraći. Dužina faze leta iznosila je svega $4,17$ cm. Takva izvedba salta naprijed gdje su točka odraza i doskoka vrlo blizu jedna drugoj smatra se idealnom u akrobatici na trampolinu ali i brojnim drugim sportovima. Ovako mali horizontalni pomak u fazi leta moguće je objasniti malom horizontalnom brzinom u trenutku odraza koja je iznosila $1,22$ cm/s.

Trajanje faze leta

Trajanje faze leta kod salta na velikom trampolinu iznosilo je $0,9$ s. Kako i samu trajektoriju TT u fazi leta kod salta sa daske u vodu karakteriziraju veće vrijednosti horizontalnog i vertikalnog pomaka, tako je i trajanje faze leta duže i iznosi $1,14$ s.

Usporedna analiza distribucije rotacije

Iako se u samoj fazi leta može donekle utjecati na rotaciju tijela na način da se skupljanjem i opružanjem tijela povećava i skraćuje radijus rotacije, ti pokreti nisu dovoljni da bi se ostvarila rotacija dovoljna za izvođenje analiziranih elemenata. Zbog toga se još u fazi odraza moraju stvoriti uvjeti koji će rezultirati ekscentričnim

odrazom, koji će kao posljedicu imati dovoljno rotacije u fazi leta.

Tako se kod skokova prema naprijed s rotacijom prema naprijed u trenutku odraza tijelo mora, u odnosu na donje ekstremitete, nalaziti u blagom pretklonu. Time se i težište tijela pomiče prema naprijed a odrazni impuls, koji se kreće od centra točke oslonca do centra zgloba kuka, djeluje iza težišta tijela. Zbog toga se stvara komponenta u odraznom impulsu koja uzrokuje rotaciju tijela u fazi leta oko transverzalne osi koja prolazi kroz težište tijela (12).

U samoj fazi leta moguće je istovremenim smanjenjem kuta u parnim zglobovima tijela (laktovima, ramenima, kukovima i koljenima) skratiti radijuse rotacije (momente inercije) i na taj način povećati kutnu brzinu, tj. ubrzati rotaciju. Po istom principu moguće je njihovim povećanjem udaljiti distalne dijelove tijela od osi rotacije i time povećati radijus rotacije, što će za posljedicu imati smanjenje kutne brzine odnosno usporiti rotaciju.

Ovo "grčenje" i "opružanje" tijela se koristi da bi tijelo nakon odraza zauzelo poziciju u kojoj će izvršiti rotaciju (zgrčeno, sklonjeno ili pruženo), te nakon kompletirane rotacije pripremiti tijelo za pravilan doskok ili kakav drugi završetak elementa.

Količina, trenutak ili brzina skraćivanja radijusa tijela odnosno rotacije u fazi leta ne mogu dostatno povećati brzinu rotacije ako prethodno, za vrijeme faze odraza, nije generirana značajna količina rotacionog gibanja (3). Po George-u idealna distribucija rotacije je ona kada je tijelo u zgrčenoj poziciji, u srednjoj trećini rotacije tj. u najvišoj fazi trajektorije TT u fazi leta (3).

Zbog svega navedenog u sklopu analize distribucije rotacije uspoređivani su i parametri odgovorno za iniciranje rotacije, kao što su: pozicije tijela u odnosu na podlogu, promjene kuta pod kojim se tijelo nalazi na

početku i na kraju odraza, te kutovi između trupa i natkoljenica u trenutku zadnjeg kontakta odraza (Tablica 3).

Položaj tijela u trenutku odraza

Kut koji zatvara os koja prolazi kroz zadnju točku oslonca i TT u odnosu na odraznu površinu kod skokova u vodu sa daske iznosio je 99,5°. Kut tijela u odnosu na odraznu podlogu izmjeren kod salta na velikom trampolinu iznosio je 90°. U tom trenutku pozicije tijela kod ove izvedbe salta bile su slične, naime kut između trupa i natkoljenica kod salta na trampolinu iznosio je 141,5°, dok je taj kut kod salta sa daske iznosio 144,5°.

Položaj tijela u fazi leta

Obzirom na položaj tijela za vrijeme rotacije fazu leta bi mogli podijeliti u tri dijela:

□□U prvom dijelu tijelo se skuplja odnosno smanjuju se kutovi u zglobovima laktova, ramena, koljena i kukova s ciljem skraćivanja radijusa rotacije i dovođenja tijela u pravilnu poziciju rotacije.

□□Drugi dio je kompletiranje rotacije u optimalnoj poziciji tijela.

□□Treći dio rotacije je faza kada se povećavaju kutovi u spomenutim zglobnim sustavima i time povećava radijus rotacije ali i tijelo priprema za doskok li neki drugi završetak elementa.

Nakon različitih pozicija tijela u trenutku odraza, kod svih izvedbi salta cilj je tijelo u fazi leta za vrijeme rotacije dovesti u pravilnu poziciju zgrčenog salta, tj. smanjiti kut između trupa i natkoljenica na vrijednost od najmanje 90°.

Kod oba analizirana salta to se dogodilo 0,12 s nakon odraza. No tada je TT u uzlaznoj putanji kod salta na velikom trampolinu bio na visini 145,5 cm od točke

Tablica 3. Biomehaničke veličine koje opisuju iniciranje i distribuciju rotacije.

Table 3. Biomechanical parameters describing the initiation and distribution of rotation.

Parametri	Oznaka	Skokovi u vodu	Trampolin
Kut TT u odnosu na podlogu u prvom kontaktu (°)	✓ TT1	78	83
Kut TT u odnosu na podlogu u zadnjem kontaktu odraza (°)	✓ TTz	99	90
Promjena kuta TT u odnosu na podlogu za vrijeme trajanja odraza (°)	□ ✓ od	21	7
Trajanje odraza (s)	t od	0,46	0,34
Kut između trupa i natkoljenica zadnjem kontaktu odraza (°)	✓ tr/n od	144,5	141,5
Visina TT* kada je kut između natkoljenica i trupa < 90° (cm)	hTT ✓ tr/n<90°	149,5	145,5
Vrijeme od odraza do kuta između natkoljenica i trupa < 90° (s)	t ✓ tr/n<90°	0,12	0,12
Najmanji kut između natkoljenica i trupa (°)	min ✓ tr/n	27,9	35,5
Visina TT* u trenutku najmanjeg kuta između trupa i natk. (cm)	h TT min ✓ tr/n	193,2	198,68
Vrijeme od odraza do najmanjeg kuta između trupa i natk. (s)	t min ✓ tr/n	0,3	0,44
Visina TT* kada je kut između natkoljenica i trupa > 90° (cm)	hTT ✓ tr/n>90°	200,63	176,24
Vrijeme od odraza do kuta između natkoljenica i trupa > 90° (s)	t ✓ tr/n>90°	0,62	0,68
Vrijeme proteklo od trenutka kuta < 90° do trenutka kad je kut > 90° (s)	t ✓ < 90° - ✓ > 90°	0,5	0,56
Najveći kut između trupa i natkoljenica (°)	max ✓ tr/n	179	171,7
Visina TT* u trenutku najvećeg kuta između trupa i natk. (cm)	hTT max ✓ tr/n	147,27	116,3
Vrijeme od odraza do najvećeg kuta između trupa i natk. (s)	t max ✓ tr/n	0,84	0,88
Trajanje leta (s)	T1	1,14	0,9
Visina TT od trenutka doskoka kod najvećeg kuta trupa/nat. (cm)	hTT d max ✓	156,92	34,96

*- izražene vrijednosti visine TT izmjerene su od točke odraza

odraza, a kod salta u vodu sa daske na 149,5 cm.

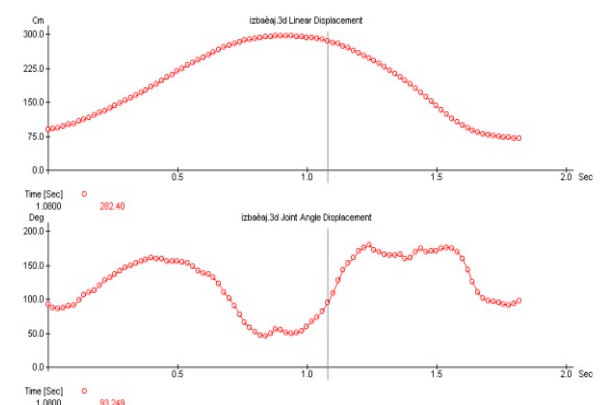
Najveće registrirano grčenje tijela bilo je kod izvedbe salta naprijed sa daske u vodu, pri tome najmanji postignuti kut između trupa i natkoljenica iznosio je 27,9°. Kod ove izvedbe salta maksimalno skupljanje tijela izvedeno u prvom dijelu faze leta tj. u uzlaznoj putanji TT.

Za vrijeme izvođenja salta naprijed na velikom trampolinu najmanji izmjereni kut između trupa i natkoljenica iznosio je 35,5°. Maksimalno skupljanje izvršeno je 0,44 s nakon odraza u silaznoj putanji TT, 1cm nakon dostizanja maksimalne visine leta.

Kod izvedbe salta naprijed sa daske u vodu faza maksimalnog skupljanja tijela traje 0,5 s. Otvaranje kuta između trupa i natkoljenica preko kuta od 90° dogodilo se na visini TT od 200,63 cm. Do najvećeg otvaranje tijela došlo je 0,84 s nakon odraza, na visini TT od 156,92 cm iznad visine na kojoj se nalazi u prvom kontaktu doskoka. Najveći kut izmjeren između trupa i natkoljenica iznosio je 179° (Dijagram 3). Svi skokovi sa daske u vodu završavaju uronom tijela u vodu, što treba biti izvedeno sa potpuno opruženim tijelom i pod optimalnim kutom u odnosu na površinu vode.

Dijagram 3. Promjena kuta u zglobu kuka u odnosu na krivulju kretanja TT u izvedbi zgrčenog salta sa daske u vodu

Graph 3. Changes in hip angle in relation to the centre of gravity trajectory during diving somersault



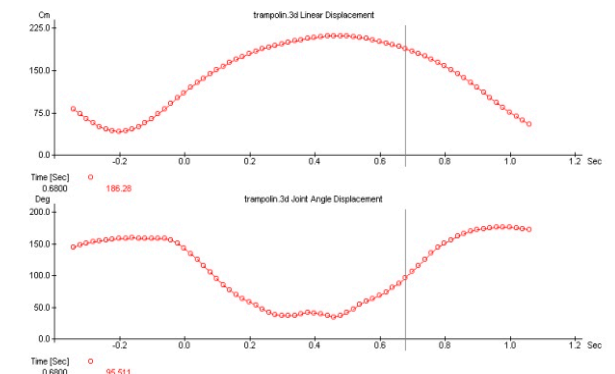
Brzo skupljanje tijela u zgrčenu poziciju (0,12 s nakon odraza), minimalni kut između trupa i natkoljenica u fazi rotacije (27,94°) i relativno dugo zadržavanje u zgrčenoj poziciji (0,5 s) bilo je potrebno iz razloga što su u fazi odraza generirani parametri koji su osigurali visoku parabolu leta, ali koji su s druge strane rezultirali relativno malom kutnom brzinom na početku rotacije. Tu relativno malu brzinu rotacije bilo je nužno ubrzati u fazi leta na već opisani način. Visoko otvaranje tijela u odnosu na poziciju doskoka i tako veliki kut između trupa i natkoljenica (179°) potrebni su da bi se usporila rotacija i tijelo pripremlilo za ulazak u vodu pod optimalnim kutom. Valja naglasiti da se daljnjom nadgradnjom ovaj element izvodi ulaskom u vodu na glavu što zahtijeva veću količinu rotacije pa se već kod ove izvedbe insistira na brzom i maksimalnom skupljanju tijela u fazi leta.

Tijelo je u zgrčenoj poziciji kod izvedbe salta naprijed na velikom trampolinu bilo 0,56 s. Otvaranje je

započelo na visini TT od 176,24 cm a maksimalni kut između trupa i natkoljenice iznosio je 171,76° i izmjeren je 0,88 s nakon odraza na visini TT 34,96 cm iznad visine u prvom kontaktu doskoka (Dijagram 4).

Dijagram 4. Promjena kuta u zglobu kuka u odnosu na krivulju kretanja TT u izvedbi zgrčenog salta na velikom trampolinu

Graph 4. Changes in hip angle in relation to the centre of gravity trajectory during trampoline somersault



Kad se promatra distribucija rotacije kod salta naprijed na trampolinu moramo uzeti u obzir neke parametre koji su već prije bili analizirani. Kutna brzina na kraju odraza bila je manja od druge analizirane izvedbe salta naprijed što se donekle kompenziralo pretklonom tijela u trenutku odraza. Zbog takve inicijalne rotacije bilo je nužno zadržati relativno dugo zgrčenu poziciju tijela i ostvariti dovoljnu količinu rotacije potrebnu za pravilan doskok. Doskok na velikom trampolinu mora biti izveden na taj način da su vrijednosti horizontalne i vertikalne brzine u prvom kontaktu, otprilike jednake onim vrijednostima koje su bile ostvarene u prvom kontaktu odraza iz razloge što se u akrobatici na trampolinu akrobatski elementi nadovezuju jedan na drugi, a odrazi i doskoci se izvode iz istog mjesta.

ZAKLJUČAK

Obzirom da se analizirane izvedbe salta naprijed izvode nakon različitih priprema za fazu odraza, sa različitih odraznih podloga i sa različitim odnosima visine točaka odraza i doskoka, istraživanje je ukazalo na očekivane međusobne razlike u tehnici izvođenja pojedinih izvedbi.

Rezultati analize faze odraza ukazali su na postojanje veće horizontalne komponente odraza kod izvedbe salta naprijed koji se izvodi odrazom nakon horizontalnog zaleta, što rezultira dužom parabolom u fazi leta (salto sa daske u vodu Lx 157,09 cm).

Zbog specifičnih priprema za odraz (horizontalni zalet, visoki naskok na odraznu podlogu) i različitih povratnih reakcija odraznih podloga, te kao posljedica toga, različitih generiranih vrijednosti horizontalne i vertikalne brzine TT ostvareni su različiti kutovi odraza, koji su odredili oblik pojedinih trajektorija TT u fazi leta.

Osim različitih kutova odraza koji su odredili oblik trajektorija TT u fazi leta, posljedica specifičnih odraza su

i različite količine rotacije inicirane u toj fazi. Različita količina rotacije inicirana u fazi odraza imala je za posljedicu različitu distribuciju rotacije u fazi leta.

Iako je kod obje analizirane izvedbe salta rotacija u pravilnoj poziciji tijela izvedena u jednoj trećini faze leta, ipak je ta distribucija rotacije bila različita. Kod izvedbi salta, rotacija tijela u zgrčenoj poziciji tijela započinjala je znatno prije maksimalne ostvarena visine leta (145,5 cm i 149,5 cm) i završavala neposredno nakon vrha trajektorije (200,63 cm kod skokova u vodu) što je posljedica specifične pripreme za doskok, ali i pojedinih parametara u fazi odraza.

Usprkos svim navedenim razlikama u izvedbi analiziranih salta iz različitih sportova činjenica je da ih karakteriziraju i opisuju isti biomehanički parametri i veličine. Ono što ih međusobno razlikuje i karakterizira svaku pojedinu izvedbu je specifičan odnos tih biomehaničkih parametara i veličina.

Obzirom da se biomehanička analiza izvodila na po jednom ispitaniku iz svakog sporta, ne bi trebalo generalizirati dobivene vrijednosti parametara. Neovisno o broju ispitanika, analizom su izdvojeni pojedini parametri koji određuju oblik trajektorije, brzinu i distribuciju rotacije svake od analiziranih izvedbi salta naprijed.

Literatura

1. Ariel Performance Analysis User's Manual (APAS). Ariel Dynamics inc., 1997.
2. Bruggeman GP. Biomechanics in gymnastics. Current research in sport biomechanics. Medicine and Sport Science, Basel:1983;Vol 25.
3. Georg GS. Biomechanic of Womens Gymnastics. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.,1980.
4. Hay JG. The Biomechanics of Sports Techniques. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.,1985.
5. Hay JG, Reid JG. Anatomy, mechanics and human motion. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1988.
6. Hennig E, Riehle H. Loads on the human body during trampoline exercises. U: G. d. Groot P, Hollander P, Huijing, Schenau GvI, eds, Biomechanics XI-B. Amsterdam: Free University Press, 1988, 736-9.
7. Hraski Ž. Konstrukcija i validacija biomehaničkog modela salta natrag. Doktorska disertacija Fakultet za fizičku kulturu: Zagreb, 1999.
8. Knight SA, Wilson BD, Hay JG. Biomechanical determinants of success in performing a front somersault. International Gymnast,1978; 18: 54-6
9. Krističević T. Analiza nekih biomehaničkih parametara u izvedbama salta naprijed u različitim sportovima. Magistarski rad Kineziološki fakultet: Zagreb, 2001.
10. Mejovšek M. Prijedlog modela za kinetičku analizu gibanja sportaša. Kineziologija, 1990; 12 (1-2).
11. Mille DI, Nelson RC. Biomechanics of Sport. Philadelphia: Len Febigar, 1973.
12. Opavsky P. Osnove biomehanike. Beograd: Zavod za izdavanje udžbenika, 1962.