**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**Ozren Rađenović**

**VRJEDNOVANJE ZAMAHA RUKU U RASTEREĆENJU PODLOGE PRI KINEZIOLOŠKIM AKTIVNOSTIMA**

**Doktorska disertacija**

**Zagreb, 2014.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**VRJEDNOVANJE ZAMAHA RUKU U RASTEREĆENJU PODLOGE PRI KINEZIOLOŠKIM AKTIVNOSTIMA**

**Doktorska disertacija**

**DOKTORAND MENTOR**

**OZREN RAĐENOVIĆ LJUBOMIR ANTEKOLOVIĆ**

**Zagreb, 2014.**

*Zahvaljujem mentoru na podršci u provedbi ovog projekta. Hvala roditeljima koji me podržavaju u ostvarenju mojih ciljeva. Zahvala supruzi na pruženoj ljubavi, svoj pomoći i velikom razumijevanju u izradi ovoga rada.*

**VRJEDNOVANJE ZAMAHA RUKU U RASTEREĆENJU PODLOGE PRI KINEZIOLOŠKIM AKTIVNOSTIMA**

*Sažetak*

Cilj rada je vrednovanje različitih načina izvedbe zamaha ruku u rasterećenju podloge pri provođenju suručnih zamaha ruku u izoliranim uvjetima. Uzorak ispitanika čini 31 mlada i zdrava muška osoba, prosječne starosti 23,09 godina (±4,36), s iskustvom treniranja u sportovima u kojima je kvalitetna izvedba zamaha ruku od velikog značaja za uspješno izvođenje elemenata, ili aktivnosti u cjelini. Prosjek godina aktivnog bavljenja sportskom aktivnošću je 9,83 (±4,59). Ispitanici su odabrani namjernim uzorkom iz slijedećih sportova: 10 ispitanika iz atletike, prosječne starosti 24,40 (±5,14), 11 ispitanika iz odbojke, prosječne starosti 22,81 (±3,18), te 10 ispitanika iz sportske gimnastike prosječne starosti 22,10 (±4,77). Od 31 ispitanika, 25 ispitanika su sadašnji aktivni natjecatelji saveznog ranga i kategorizirani sportaši Hrvatskog Olimpijskog Odbora, a 6 ispitanika su prestali sa svojom aktivnom natjecateljskom aktivnošću, ali su također bili kategorizirani sportaši u vrijeme aktivnog bavljenja sportskom aktivnošću. Ispitanici iz atletike u prosjeku su aktivni u sportskoj grani 7,92 (±4,99), godine, ispitanici u odbojci 9,68 (±4,07), a u sportskoj gimnastici prosječno trajanje bavljenja aktivnošću iznosila je 11,92 (±4,25) godine. U području morfoloških obilježja ispitanika utvrđene su prosječne vrijednosti ispitanika, visina ispitanika 184,12 cm (±9,84), masa ispitanika 80,47 kg (±10,07), masa ruku 9,49 kg (±0,76), masa šaka 1,11 kg (±0,12), masa podlaktica 2,40 kg (±0,32), masa nadlaktica 5,80 kg (±0,77) i dužina ruke 77,19 cm (±4,77).

Uzorak varijabli za procjenu kinematičkih veličina sačinjavalo je osam prediktorskih varijabli: maksimalna brzina zamaha ruku (**VmaksZ**); put deceleracije ruku (**PD**); kut u zglobu lakta (**Ldeg**); vrijeme trajanja zamaha ruku (**vtrZ**); vrijeme trajanja akceleracije (**AvtrZ**); vrijeme trajanja deceleracije (**DvtrZ**); vertikalna visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha (**hzmV**), te srednja vrijednost razlike u visini vertikalnog skoka sa i bez zamaha rukama (**hdiffSKOK**).

Utvrđivanje visine skoka provodilo se pomoću standardiziranog testa prema postojećem **“Bosco Ergojump System”** (Byomedic, S.C.P., Barcelona, Spain) protokolu. Za potrebe mjerenja analiza podataka provodila se u dva smjera i to kroz analizu kinematičkih i kinetičkih parametara suručnog zamaha rukama.

Analiza kinematičkih parametara video zapisa provedena je pomoću programa SkillSpector 1.2.4., dok je analiza kinetičkih parametaraprovedena pomoću podataka dobivenih mjerenjem na platformi za mjerenje sila reakcije podloge „Quattro Jump“ model 9290AD (Kistler). Specijalni protokol koji omogućava kvantifikaciju izvedbe vezane uz aktivnost donjih ekstremiteta, "Quattro Jump Bosco Protokol", omogućava objektivno mjerenje sile i vremena te izračunavanje za ovo istraživanje potrebnih veličina visine skoka i vrijednosti stvorene vertikalne sile suručnog zamaha rukama u izoliranim uvjetima. Za ovo istraživanje posebno dizajnirana sjedalica postavljena je na platformu za mjerenje sila reakcije podloge, a svojom je konstrukcijom omogućavala izvođenje samo izoliranog pokreta zamaha rukama iz početnog položaja, zaručenje do uzručenja kao krajnjeg položaja ruku. Zadatak se snimao pomoću digitalne kamere tvrtke RED, model „EPIC“ 14MEGAPIXEL MYSTERIUM-XTM“, a frekvencija snimanja namještena je na 300 Hz uz brzinu zatvarača 1/200 s.

Pomoću mjera kovariranja provjerena je povezanost između prediktorskih i kriterijske varijable, razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom (**RPZ**), te je u rezultatima korelacijske analize utvrđena srednja povezanost prediktorske varijable, s kriterijskom varijablom, maksimalna brzina zamaha rukama (**VmaksZ**), uz koeficijent korelacije r=,477, p<0,01.

Utvrđivanje prediktorskih kinematičkih varijabli koje najbolje objašnjavaju varijabilitet kriterijske varijable izvedeno je pomoću metode regresijske analize. Skupinu prediktorskih varijabli sačinjavalo je jedanaest varijabli (**VmaksZ, PD, Ldeg, vtrZ, AvtrZ, DvtrZ, AVMR, AVMŠ, AVMP, AVMN, hzmV**), a kako bi se utvrdila snaga mjerenih prediktorskih varijabli na kriterijsku varijablu, izračunata je hijerarhijska regresijska analiza „backward“ metodom. Korištenjem hijerarhijske regresijske analize, broj varijabli reduciran je na četiri statistički značajne, uz multiplu korelaciju R=0,571, te objašnjenje 29,6% varijance rezultata u zavisnoj varijabli, uz razinu značajnosti p<0,05.

Iz tako dobivenih rezultata zaključeno je da varijabla maksimalna brzina zamaha (**VmaksZ**), u najvećem opsegu objašnjava kriterijsku varijablu (β=0,49), slijedi varijabla masa šaka (**AVMŠ**, β=-0,44), potom varijabla masa ruku (**AVMR**, β=0,39) i na posljednjem mjestu je varijabla kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini (**Ldeg**, β=-0,16). Prema provedenoj analizi varijance postoji statistički značajan F-omjer na razini p<0,05, te je dokazana statistički značajna razlika između ispitanika koji su se bavili atletikom (ATL) i ostale dvije grupe ispitanika prema sportovima, odbojka (ODB) i sportska gimnastika (SPG).

**Ključne riječi**: sila reakcije podloge, zamah rukama, centar težišta tijela

**EVALUATION OF ARM SWING IN GROUND UNLOADING IN KINESIOLOGICAL ACTIVITIES**

*Abstract*

The aim of this thesis is to evaluate various modes of arm swing performance in relieving the pressure on the ground in performing arm swing in isolated conditions. The sample comprised of 31 young, healthy males with an average age of 23.09 years (±4.36), with training experience in sports in which performance of quality arm swing is of great importance for the successful execution of the elements, or activities in general. Average number of years of being active in individual sport activity was 9.83 (±4.59). Participants were recruited as intentional sample of following sports: athletics 10 subjects, volleyball 11 subjects and 10 subjects in sports gymnastics. Of 31 participants, 25 are currently active competitors at national level and categorized athletes at Croatian Olympic Committee, and six participants are no longer active competitors, but were categorized athletes in time when they actively participated in sports activities. Average length of engagement in their sport was 7.92 years (±4.99) for participants in athletics, 9.68 years (±4.07) for participants in volleyball and 11.92 (±4.25) years for participants in sports gymnastics. Regarding identified morphological characteristics of the participants, the average values were: height 184.12 cm (±9.84), weight 80.47 kg (±10.07), arm weight 9.49 kg (±0.76), fist mass 1.11 kg (±0.12), forearm mass 2.40 kg (±0.32), upper arm mass 5.80 kg (±0.77) and arm length 77.19 cm (±4.77 ).

The variables sample for estimating kinematic quantities consisted of eight predictor variables: maximum speed arm swing (**VmaksZ**), arm deceleration time (**PD**), the angle of the elbow joint (**Ldeg**), time length of arm swing (**vtrZ**), time length of acceleration (**AvtrZ**), time length of deceleration (**DvtrZ**), vertical height of arm wrists at the moment of maximum swing speed (**hzmV**) and the mean differences in the vertical jump with and without arm swing (**hdiffSKOK**).

Determining the height of the jump was conducted using standardized test "Bosco Ergojump System" protocol (Byomedic, SCP, Barcelona, Spain). For purposes of measuring data analysis was carried out in two directions, through the analysis of kinematic and kinetic parameters of arm swing.

Analysis of kinematic parameters of the video recording was performed using the program SkillSpector 1.2.4. Analysis of kinetic parameters was performed using data obtained by measuring on the platform for measuring the ground reaction forces "Quattro Jump, Model 9290AD (Kistler). Special protocol that allows the quantification of performance related to the activity of the lower extremities, "Quattro Jump Bosco Protocol", provides an objective measurement of force and time and calculations of relevant data: height of the jump and the values obtained by measuring vertical force of the arm swing in isolated conditions.

Specially constructed seat which is placed on a platform for measuring ground reaction forces with its structure allowed performance of isolated arm swing movements. The task was recorded using a digital camera RED, model "EPIC" 14MEGAPIXEL Mysterium- XTM and recording frequency is set to 300 Hz with a shutter speed of 1/200 s.

Using covariance measures the relationship between the predictor and criterion variable, difference in the measured ground unloading (**RPZ**) was explored, and the results of the correlation analysis showed medium correlation between predictor variables and criteria variable maximum speed of arm swing (**VmaksZ**), with a correlation coefficient of r=477, p<0.01. Determining kinematic predictor variables which explain best the variability in criterion variable is derived using regression analysis.

A group of predictor variables consisted of eleven variables (**VmaksZ, PD, Ldeg, vtrZ, AvtrZ, DvtrZ, AVMR, AVMŠ, AVMP, AVMN, hzmV**). To determine the strength of measured predictors hierarchical regression analysis "backward "method was used. Using hierarchical regression analysis, the number of variables was reduced to four statistically significant, with multiple correlation R=0.571, which explained 29.6% of variance in the dependent variable, with a significance level of p<0.05.

From the obtained results it was concluded that the variable maximum swing speed (VmaksZ), in the largest extent explains the criterion variable (β=0.49), followed by variable fist mass (**AVMŠ**, β=-0.44) and variable arm weight (**AVMR**, β=0.39) and last the variable elbow joint angle at the maximum speed (**Ldeg**, β=-0.16).

According to the analysis of variance there was a statistically significant F-ratio at the level of p <0.05, and a statistically significant difference between participants who were engaged in athletics (ATL) and the other two groups, volleyball (ODB) and sports gymnastics (SPG) .

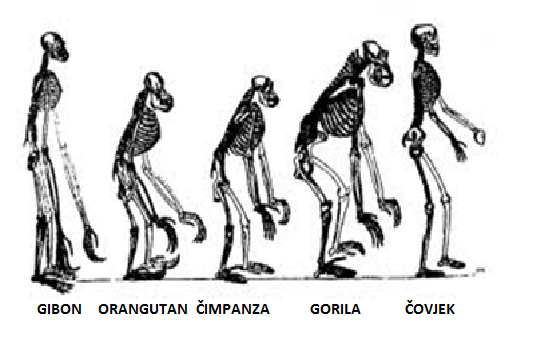
**Keywords**: ground reaction force, arm swing, center of body gravity

**SADRŽAJ**

1. **UVOD 8**
2. **DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA 18**
3. **PROBLEM 39**
4. **CILJ I HIPOTEZE 41**
5. **MATERIJALI I METODE 43**
   1. Uzorak ispitanika **43**
   2. Uzorak varijabli **44**
      1. Morfološka obilježja **45**
      2. Kinematičke i kinetičke varijable **46**
   3. Mjerna oprema **46**
   4. Protokol mjerenja **50**
   5. Metode analize i obrade podataka **54**
      1. Prikaz varijabli korištenih za potrebe istraživanja **54**
      2. Obrada podataka **57**
6. **REZULTATI I RASPRAVA 58**
   1. Deskriptivna analiza varijabli **58**
   2. Korelacijska analiza varijabli **63**
   3. Regresijska analiza varijabli **68**
   4. Analiza varijance **80**
7. **ZAKLJUČAK 86**
8. **LITERATURA 90**
9. **UVOD**

Otkada se čovjek uspravio na noge te evolucijom postao dvonožac, od velike je važnosti povezanost gibanja ruku u očuvanju ravnoteže i pokretanja tijela *(Umberger, 2008)*. Za vrijeme hodanja, ruke izvode pokrete njihanja koji prati pokrete nogu i na taj način stvarajući silu zamaha kao i dinamičku ravnotežu hoda (*Elftman, 1939; Hinrichs, 1990*). Zamah rukama pri izvođenju lokomocije ima veliku važnost u kvaliteti izvedbe pokreta, koji izrazito doprinosi održavanju ravnotežnog položaja u bilo kojoj aktivnosti cikličkog ili acikličkog tipa.

Hod kao jedan od osnovnih oblika lokomocije, nastajući kroz evoluciju (slika 1.), imao je velik utjecaj na razvoj čovjeka. Pri hodanju i trčanju, pokretima cikličkog tipa, zamah rukama omogućava lakše i ekonomičnije gibanje tijela, dok pri izvođenju skokova, pored održavanja ravnoteže, kako pri odrazu u trenutku leta, tako i u doskoku (*Ashby, 2002*), kvaliteta i različitost zamaha uvelike određuju visinu koju može dostići težište tijela sportaša. Aktivnost skakanja je jedan od temeljnih obrazaca čovjekovog kretanja, a zamah rukama ima jednu od važnijih zadaća u očuvanju ravnoteže te olakšava izvođenje pokreta (*Payne i sur.,1968; Shetty i Etnyre,1989; Hara i sur., 2006*).



Slika 1. Evolucija hoda kod čovjeka

Svakodnevno hodanje opisano je kao najčešći prirodni način čovjekova kretanja dok je sportsko hodanje opisao kao njegov atletski oblik.

Hodanje pripada cikličkom lokomotornom kretanju, a svi oblici hodanja (svakodnevno, sportsko, neki oblici vojničkih, itd.), imaju jednu zajedničku karakteristiku, a to je neprekidan kontakt s podlogom. To je ujedno i osnovna razlika između hodanja i trčanja u kojem se smjenjuju razdoblja oslanjanja s razdobljima leta. Frekvencija koraka ovisi o brzini živčanih procesa u kori centralnog živčanog sustava. Ustanovljeno je kako na frekvenciju koraka ima utjecaj i kut savijanja ruku u laktovima. Pri većoj frekvenciji koraka obično su i ruke u laktovima više savijene (*Šnajder, 1991*).

Hod se može opisati kao niz ravnomjernih i naizmjeničnih koordiniranih pokreta udova i trupa s ciljem davanja potpore i pogona u svrhu lokomocije (*Whittle, 2002*). Hod je visoko individualiziran i različit u svakog pojedinca. Primjerice, u stanju smo prepoznati neku osobu po obrascu hoda, a varijacije ne ovise samo o tjelesnim razlikama između pojedinih ljudi, nego se očituju i za jednu te istu osobu, ovisno o vrsti obuće, o umoru, o trenutačnom raspoloženju i drugim parametrima. Počeci znanstvenog proučavanja hoda sežu još od Da Vincia, Galilea i Newtona, a prvo djelo koje na potpuno znanstveni način opisuje hod je „*De Motu Animalium“* (1682), autora Giovanni Alfonso Borellia. Borelli je izmjerio centar gravitacije, koji se kod odrasle osobe u uspravnom stavu nalazi 5cm ispred drugog sakralnog kralješka te je opisao kako tijelo održava ravnotežu pomicanjem baze oslonca pod težište tijela (prema *Whittle, 2002*).

Proučavanje slično današnjem znanstvenom promišljanju započinje tek s razvojem fotografije, te je tako postalo moguće snimiti sliku sekvence koja otkriva detalje o ljudskim motoričkim kretnjama (slika 2. i slika 3.), koje nisu uočljive ukoliko ih promatramo bez dodatnih pomagala (*Kasović i sur., 2009*). Tako je utvrđeno da čovjek u poziciji stajanja, veliku tjelesnu masu održava na maloj površini oslonca, dok se pri hodu površina oslonca stalno mijenja na način da se prebacuje težina s jedne na drugu nogu, dok faza oslonca na obije noge pri hodu čini 10-15% cjelokupnog vremenskog ciklusa hoda.



Slika 2. Ljudske motoričke kretnje.



Slika 3. Ljudske motoričke kretnje.

U razdoblju nakon Drugog svjetskog rata u Sjedinjenim Američkim Državama djelovala je „The Berkeley Group“ s osnovnim ciljem protetičkog zbrinjavanja brojnih invalida rata, te je tad po prvi put cjelovito mjeren i analiziran ljudski hod. Kasnije je razvoj područja rezultirao standardizacijom metodologije temeljene na mjerenju kinematičkih, kinetičkih i elektromiografskih (EMG) veličina, kao ulaznih podataka kojima se praćena lokomocija kvantitativno opisuje. Kombiniranjem tako izmjerenih veličina s onima što proizlaze iz inercijskih svojstava tjelesnih segmenata i tijela u cjelini moguće je matematički procijeniti unutrašnje sile i momente sila koji djeluju u zamišljenim središtima zglobova takvog sustava (*Medved i Kasović, 2007*).

Trčanje je za čovjeka djelomično još i danas životna potreba. Za vrijeme svojeg filogenetskog razvitka, čovjek je u borbi za opstanak gotovo svakodnevno primjenjivao trčanje, a njegov organizam se s vremenom prilagodio tom načinu kretanja. Velika rasprostranjenost trčanja objašnjava se njegovim raznovrsnim i izvornim utjecajem na organizam čovjeka, dostupnošću i jednostavnom organizacijom rada. Kratkotrajna naprezanja velikog intenziteta u brzom trčanju, izmjenjujući se s intervalima opuštanja, pogoduju razvitku snage, koordinacije pokreta, pokretljivosti i brzini, a posebno su cijenjeni zbog razvitka kardiovaskularnog i dišnog sustava (*Šnajder, 1991*).

Osnovu trčanja čine koraci s kojima je povezano kretanje ruku i tijela, a ti se koraci kontinuirano ponavljaju čime stvaraju cikličko kretanje u kojem jedan dvojni korak čini ciklus. U toku jednog ciklusa trkaćeg koraka razlikuju se dvije faze oslonca, dvije faze zamaha i faza leta. Brzina u trčanju se povećava na račun redukcije fleksije u zglobovima koljena i skočnog zgloba i to aktivnošću ekstenzora zgloba koljena (*m.vastus medialis i lateralis*), kao i plantarnim fleksorima (*m. gastrocnemius medialis i lateralis*).

Rad ruku za vrijeme trčanja u velikoj je koordinaciji s radom nogu i kretanjem tijela. Osnovna značajka tih kretanja je stabilnost položaja tijela pri trčanju. Osim toga, u nekim trenutcima (startno ubrzanje i završnica) ruke aktivno sudjeluju u ubrzanju kretanja. Pri bržem trčanju amplitude su veće nego li u sporijem trčanju, tako da se dlanovi pokreću unatrag iza kuka, a u prednjem položaju podižu se do visine brade (*Šnajder, 1991*).

Kao što je već rečeno, hodanje, trčanje i skakanje su temelj cjelokupnog motoričkog sustava, te se ta tri motorička obrasca počinju usvajati još u ranom razvoju djeteta (Jensen i sur.,1994). Navedeni temeljni obrasci pokreta ili njihovi sastavni dijelovi, koriste se u mnogim sportskim aktivnostima neovisno o kojim je pojedinim sportskim disciplinama i tehnikama riječ. Stoga se i vertikalni skok najčešće koristi kao dio sportsko-medicinske obrade za mjerenje ukupne snage donjih ekstremiteta (*Bosco i Komi, 1979; Dowling i Vamos, 1993; Hunter i Marshall, 2002; Sayers i sur., 1999*), i kao sastavni dio treninga za poboljšanje eksplozivne snage tipa skočnosti (*Bobbert i sur., 1987b; Bobbert, 1990*).

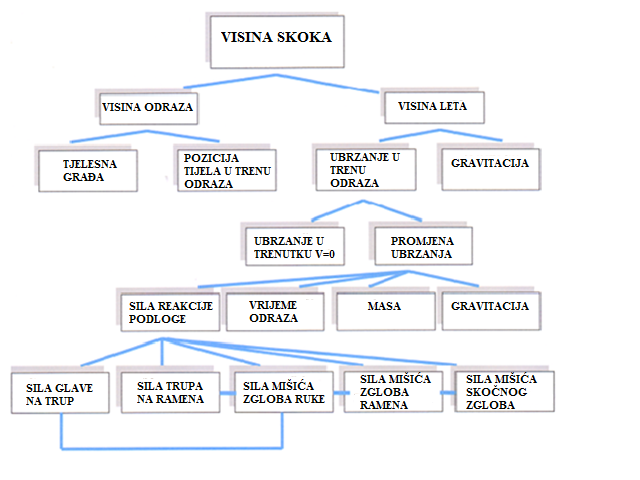
Iako su vertikalni skokovi pokreti koji zahtijevaju kompleksnu motoričku koordinaciju segmenata gornjeg i donjeg dijela tijela, mnoga prethodna istraživanja su pojasnila ulogu zamaha ruku u vertikalnom skoku, te razvoj eksplozivne snage tipa skočnosti (*Feltner i sur., 1999; Harman i sur., 1990; Lees i Barton, 1996; Luhtanen i Komi, 1978; Shetty i Etnyre, 1989*). Vertikalan skok, kao jedan od temeljnih obrazaca čovjekovog kretanja, također ima veliku povezanost sa zamahom rukama, koji i u ovom temeljnom motoričkom obrascu imaju zadaću u očuvanju ravnoteže te omogućavanju učinkovito izvođenja kretnji (*Hara i sur., 2006; Payne i sur., 1968; Shetty i Etnyre, 1989*).

Postoje brojna istraživanja, u kojima su razni autori pokušali objasniti kako se postiže maksimalna učinkovitost izvedbe vertikalnog skoka, i o kojim vanjskim i unutarnjim čimbenicima ovisi njegovo uspješno usvajanje i izvođenje, te su brojni autori pokušavali objasniti neuromišićnu podlogu kretnje, kao i prilagodbe koje se javljaju pri izvođenju vertikalnog skoka (*Harman i sur.,1990*).

Ipak, jedan dio znanstvenika (*Aguado i sur.,1997; Horita i sur.,1991; Izquierdo i sur.,1998*), koji su u svojim radovima istraživali skok u dalj s mjesta te mjerili različitosti u izvedbama skoka u dalj s mjesta, nisu u potpunosti mogli odgovoriti na pitanje, kako i na koji način zamah ruku povećava efikasnost skoka u dalj s mjesta. Odgovor na isto pitanje tražili su u svojim istraživanjima i razni drugi autori (*Payne i sur., 1968; Feltner i sur., 1999; Lees i Barton, 1996; Lees i sur., 2004; Ae i Shibukawa,1980*), kada su proučavali kako je koordinirani zamah ruku u izvođenju vertikalnog skoka povezan s povećanjem vrijednosti maksimalnog dosega skoka u visinu.

Za potpunije razumijevanje i uočavanje problematike uloge i djelovanja zamaha ruku u vertikalnom skoku, potrebno je pogledati deterministički model (slika 4.), koji su izradili Hay i Reid (1988). Prema tom modelu, maksimalan doseg vertikalnog skoka, funkcija je visine centra težišta tijela koju određuje vertikalna visina pomaka centra težišta tijela dok je u zraku nakon akcije odraza. Za vrijeme izvođenja vertikalnog skoka, zbog aktivnog zamaha rukama iz zaručenja prema uzručenju, tijelo je u početnoj fazi odraza u položaju pretklona trupa, a ruke počinju aktivan zamah prema uzručenju. Na kraju zamaha, tijelo se opruža, rukama u uzručenju, gotovo opruženih u laktova.

Uslijed djelovanja ruku u izvođenju zamaha povećati će se i visina centra težišta tijela, što će ujedno rezultirati povećanju maksimalnog dosega vertikalnog skoka. Sam zamah rukama može također biti povezan i s veličinom vertikalne komponente sile reakcije podloge te na taj način povećati krajnji impuls koji izvodi skakač. Zauzvrat, veći impuls sile rezultira povećanjem vertikalne brzine centra težišta tijela u trenutku odraza i povećanjem same visine vertikalnog skoka.



Slika 4. Deterministički model vertikalnog skoka u vis s mjesta prema Hay i Reid 1988.

Također, u svakom odrazu u velikoj mjeri sudjeluju i mišići nogu te mišići trupa ali iz dostupnih istraživanja, , nije moguće zaključiti točnu povezanost tako izoliranog pokreta ruku na težište, kako i odnosa akceleracija-deceleracija zamaha ruku na vertikalnu komponentu sile pritiska podloge.

Veliki izazov u istraživanju pokreta ljudskog tijela je mogućnost opisivanja kako i na koji način u nekoj dinamičnoj izvedbi pojedinog pokreta, u kojem sudjeluju pojedini segmenti ljudskog tijela, postoji međusobno organizirana koordinacija na svim razinama izvedbe čiji je glavni rezultat kvalitetna izvedba pojedine motoričke aktivnosti. U cilju što boljeg i kompletnijeg uvođenja u problematiku vertikalnog skoka, u opisivanju kretnje tražila se povezanost i međusobna koordinacija u izvedbi vertikalnog skoka, odnosno kako i na koji način su povezani pojedini pokreti koji se zasebno izvode po segmentima: donji dio tijela, trup i gornji dio tijela (*Carr i Gentile, 1994*).

Nadalje, ljudski je pokret vrlo kompleksan i u njegovu izvedbu, ovisno o motoričkom dinamičkom stereotipu gibanja, uključeni su pojedini segmenti ljudskog tijela. Način zamaha kao i karakterističan zalet na preskoku, te na tlu kod izvođenja različitih elemenata u sportskoj gimnastici (*Šadura, 1991*), zamah za pripremu odbojkaša za izvođenje skoka pri izvedbi dohvata u smeču i dohvata u bloku (*Đurković, 2008*), te zamasi pogrčenim rukama pri izvođenju skokova u nekim atletskim disciplinama uvelike su povezani s kvalitetom izvođenja vertikalnih skokova.

Uočeno je da maksimalna visina centra težišta tijela kod vertikalnog skoka ima pozitivnu povezanost sa suprotnim kretanjem („countermovement“-skok iz počučnja s pripremom) donjih ekstremiteta (*Khalid i sur., 1989; Harma i sur., 1990*), kao i snažni zamah rukama prije odraza (*Payne i sur.,1968; Luhtanen i Komi, 1978; Khalid i sur., 1989; Shetty i Etnyre, 1989; Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999*). Zamah rukama povećava visinu (*Payne i sur., 1968; Khalid i sur., 1989; Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999*), i vertikalnu brzinu centra težišta tijela u trenutku odraza (*Luhtanen i Komi, 1978; Shetty i Etnyre, 1989; Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999*), i dovodi do povećanja maksimalne visine centra težišta tijela za 5-10%. Međutim, mehanizmi koji omogućavaju rukama povećanje visine skoka nisu dobro poznati. Payne i sur. (1968) pretpostavili su da zamah rukama povećava veličinu vertikalne komponente sile reakcije podloge neposredno nakon odraza. Hay i sur., (1978), te Hay i sur., (1981), ustanovili su da su momenti sile u ramenu, laktu i ručnom zglobu povezani sa zamahom rukama u značajnoj korelaciji s visinom skoka, ali istraživanja nisu sadržavale hipotezu o uzročnom mehanizmu koji bi objasnio ovaj odnos.

Harman i suradnici u jednom od svojih istraživanja postavili su hipotezu da zamah rukama stvara silu koja trup potiskuje prema dolje, što pak usporava koncentričnu aktivaciju mišića *quadadricepsa* i *gluteusa* kada su u “povoljnom položaju za stvaranje vertikalne sile reakcije podloge” (*Harman i sur., 1990:832*).

Kod odbojkaša koji su izvodili skokove iz počučnja s pripremom sa zamahom i bez zamaha rukama, Feltner i suradnici (1999) utvrdili su da zamah rukama smanjuje moment sile kod ekstenzije kuka i koljena u trenutku inicijalne trećine propulzivne faze skoka. Međutim, zamah rukama povezan je s povećanje tih istih momenata sila koje dovode do opružanja kuka i koljena za vrijeme srednjeg i kasnijeg dijela propulzivne faze prije odraza. Autori su također ustanovili da je vertikalna brzina centra težišta tijela u trenutku skoka sa zamahom rukama jednake ili veće vrijednosti od veličine u trenutku skoka bez zamaha rukama za trajanja cijele propulzivne faze. Prema tome, dok je zamah rukama povezan sa smanjenjem momenta sile ekstenzije u zglobu kuku i zglobu koljenu u inicijalnim dijelovima propulzivne faze, nije povezan sa sposobnošću ispitanika da primijeni vertikalnu komponentu sile na podlogu i na taj način stvori veću vertikalnu brzinu.

Dakle, u prijašnjim istraživanjima zaključeno je da je povezanost zamaha rukama i stvaranje vertikalne komponente sile reakcije podloge povoljan, ali nedovoljno ispitan. Dvije sile kontroliraju vertikalno kretanje skakača prije odraza: težina (*N*) u centru težišta tijela, i vertikalna komponenta sile reakcije podloge (*FZ*).

Težina (*N*) ima konstantnu veličinu, uvijek djeluje prema dolje, i u suprotnom je odnosu s prema gore usmjerenom silom (*FZ*). Odnos između vertikalne brzine centra težišta tijela (*VZG*) u trenutku odraza, (*N i FZ*) prikazan je u jednadžbi (1-1).

(1-1)

U jednadžbi *tLP* je vrijeme centra težišta tijela u trenutku suprotnog kretanja (*VZG=0*), tTO je trenutak odraza, a *mBODY*je masa tijela. Skakač može povećati vertikalnu brzinu u trenutku odraza povećanjem trajanja razdoblja između *tLP* i *tTO* ili povećanjem prosječne veličine *FZ* između *tLP* i *tTO*. Kod vertikalnih skokova, odnos između trajanja faze odraza i *FZ* prikazan je u jednadžbi (1-2).

(1-2)

U jednadžbi *sTO* i *sLP* su vertikalno pomaknuti centri težišta tijela u *tLP* i *tTO*, dok je prosječna veličina *FZ*za vrijeme faze odraza. Kao što je vidljivo iz jednadžbi 1 i 2, povećanja *FZ* u fazi odraza povećavaju vertikalnu brzinu centra težišta u trenutku odraza i smanjuju dužinu razdoblja između *tLP* i *tTO*.

Prema tome, u svrhu najvećeg mogućeg povećanja vertikalne brzine centra težišta kod odraza, skakači moraju koordinirati mišićne radnje kako bi pravilno rasporedili rezultirajuće segmentalne kretnje i simultano optimizirali trajanje između *tLP* i *tTO* kao i prosječnu veličinu *FZ* za vrijeme faze odraza.

Noge najviše doprinose veličini *FZ* kod vertikalnog skoka (*van Ingen Schenau, 1989*). Kod skokova sa zamahom rukama, pokreti ruku i trupa također rezultiraju u silama koje se prenose na segmente donjih udova i koje mogu utjecati na *FZ* (*Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999*). Da su noge kruta tijela bez mišića, sile koje ruke i trup prenose na noge rezultirale bi istim promjenama u FZ. Međutim, kako noge nisu kruta tijela, te sile koje ruke i trup prenose na noge također mijenjaju opterećenje i pokrete segmenata nogu.

Također, pokreti segmenata nogu mijenjaju fiziološke uvjete u mišićima nogu (dužina mišića, tip, frekvencija kontrakcije, itd.), što dovodi do promjena u silama koje stvaraju mišići a time i do promjene u vertikalnoj komponenti sile *FZ*. Konkretno, kako bi u potpunosti razumjeli način na koji zamah rukama povećava visinu skoka, potrebno je izraditi model u kojem bi prikazali udio svakog segmenta tijela na *FZ* i sila koje mišići nogu stvaraju kroz cijelu fazu vertikalnog odraza. Modeli koji ispituju ubrzanje segmenata tijela koje je posljedica sila i momenata sile koje stvaraju mišići i vanjske sile reakcije omogućuju uvid u uzročne čimbenike kretanja (*Bobbert i van Ingen Schenau, 1988*).

Izvedba zamaha ruku, s različitim brzinama akceleracije, odnosno deceleracije, kao i provedba zamaha s različitim kutovima u zglobu lakta koji se mijenjaju za vrijeme izvođenja zamaha, zasigurno imaju velik utjecaj i široku primjenu u različitim sportovima. Primjerice, način zamaha kao i karakterističan zalet na preskoku, te na tlu kod izvođenja različitih elemenata u sportskoj gimnastici, zamah za pripremu odbojkaša za izvođenje skoka pri izvedbi dohvata u smeču i dohvata u bloku, te zamasi pogrčenim rukama pri izvođenju skokova u nekim atletskim disciplinama imaju velike implikacije na kvalitetu izvođenja vertikalnog skoka.

Vertikalan skok, bilo da se izvodi iz mjesta ili iz kretanja, kao usvojeni obrazac pokreta, dio je mnogih sportskih aktivnosti kao što su razne momčadske igre (odbojka, košarka,…), ili pak pojedinačnih sportova (atletika, gimnastika,…). U svakom vrhunskom sportu ciljevi koje sportaši moraju ostvariti uglavnom zahtijevaju maksimalne odlike gotovo svih motoričkih dimenzija sportaša, pa tako i onih kod kojih je skok, bilo da se izvodi s mjesta ili iz kretanja, jedan od osnovnih čimbenika ostvarivanja cilja uspješnosti u toj sportskoj grani.

1. **DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA**

Iz dosadašnjih istraživanja koja su provedena u okviru utvrđivanja povezanosti pojedinih segmenata tijela na izvedbu vertikalnog skoka, može se zaključiti da su se istraživanja, bez obzira na jednostavnost samog motoričkog gibanja, provodila u na više razina obzirom na kompleksnu interakciju koju moraju zadovoljiti donji udovi i to u sva tri zgloba (zglob kuka, zgloba koljena i skočni zglob), uz izrazitu ulogu velikih mišićnih skupina kao što su *gluteus* i *quadriceps,* te mišići stražnje strane natkoljenice kao i plantarni fleksori (*Vanrenterghem, 2004*).

Upravo tako kompleksna pozadina ovog naizgled jednostavnog gibanja, vertikalnog odraza s mjesta, proučavana je u više smjerova (prema *Vanrenterghem, 2004*):

* vertikalan skok koji se izvodi sa i bez pripreme tijela,
* vertikalan skok koji se izvodi sa i bez dodatnog opterećenja,
* vertikalan skok u kojem se koristi ili ne koristi suručni zamah rukama kao jedna od mogućnosti povećanja dosega skoka,
* vertikalan skok na način kako ga izvode odrasli u usporedbi na način kako ga izvode djeca,
* usporedba dobre i loše izvedbe vertikalanog skoka, i
* usporedba izvedbe vertikalnog skoka u ovisnosti od sporta i sportske grane u kojoj se provodi izvedba odraza.

U istraživanjima u kojima se želi doznati više pojedinosti o kinetičkim i kinematičkim sastavnicama vertikalnih skokova, mogu se koristiti i mjerni protokoli koje je u suradnji sa Švicarskom tvrtkom “Kistler” razvio dr. Carmel Bosco, a koji se nazivaju **“Bosco ErgoJump System”** (Byomedic, S.C.P., Barcelona, Spain). *“Bosco ErgoJump System”* u svojim protokolima nudi šest specifičnih testova pomoću kojih se može utvrditi različitosti u izvedbama vertikalnog skoka, a koje ovise o različitim načinima izvedbe vertikalnih skokova uz upotrebu pojedinih mišićnih skupina. (<http://www.topendsports.com/testing/bosco-ergo-jump.htm>).

Analizom dosadašnjih istraživanja uloga zamaha rukama u vertikalnom skoku uočeno je da se vertikalni skok ispituje isključivo u koordinaciji s odraznom akcijom nogu i trupa, neovisno izvode li se različiti testovi vertikalnog skoka, skok iz počučnja s pripremom tijela ili skok iz počučnja bez pripreme tijela. Kao rezultat spajanja ta dva smjera provođenja istraživanja, većina znanstvenika je u svojim istraživanjima kombinirala oba testa, te povezanost dobivenih rezultata s visinom vertikalnog odraza (*Payne i sur., 1968; Luhtanen i Komi, 1978; Harman i sur., 1990; Dapena, 1993; Feltner i sur., 1999; Feltner i sur., 2004; Less i sur., 2004; Bobert i Casius, 2005; Hara i sur., 2006 i 2008; 2007; Lulić i sur., 2008; Umberger, 2008*).

Različite grupe autora zanimalo je na koji je način međusobna koordinacija segmenata tijela u izvođenju kompleksne motoričke aktivnosti kao što je vertikalan skok, povezan s rasterećenjem podloge, te gledajući kroz kompleksan biomehanički opis gibanja, kakvu povezanost ima s visinom dosega vertikalnog skoka. Zbog uključenog velikog broja segmenata tijela kao i mišića, bilo da su sinergističke ili antagonističke skupine mišića, za očekivati je da će se jedan dio energije koju stvaraju mišići za izvođenje pokreta izgubiti i na intermuskularnu koordinaciju pojedinih velikih mišićnih skupina koje su uključene u izvedbu pokreta. Nadalje, postavlja se pitanje koliko u vertikalnom odrazu sudjeluju pojedini segmenti tijela i koja je njihova uloga u izvedbi motoričkog zadatka. Upravo se zato i među prvim istraživanjima koja su provedena u području vertikalnih skokova, pokušalo ispitati i utvrditi koliki udio u vertikalnom ubrzanju centra težišta tijela imaju pojedini dijelovi segmenata tijela.

Tako su Luhtanen i Komi (1978) izmjerili koliku povezanost s izvedbom vertikalnog skoka imaju pojedini segmenti tijela. U istraživanju je tada utvrđeno da ruke pri izvođenju zamaha s opruženim lakatnim zglobovima sudjeluje tek oko 10% u izvođenju vertikalnog skoka. Još se nekolicina autora u svojim istraživanjima bavila proučavanjem intramuskularne koordinacije prilikom izvođenja vertikalnog skoka (*Gregoire i sur., 1984; Fukashiro i Komi, 1987; van Ingen Schenau i sur., 1987; Bobbert i van Ingen Schenau, 1988*). Dobiveni rezultati ukazuju na to da pravovremenom aktivacijom *m.rectusa femorisa* i *m.gastrocnemiusa* može uvelike poboljšati stvaranje sile odraza te se takva pravovremena aktivacija ta dva mišića prenosi i na mišiće potkoljenice i stopala, stvarajući veću silu odraza.

Međutim, zbog ograničenja tehnike mjerenja u elektromiografiji, ne mogu se sa sigurnošću utvrditi dobivene vrijednosti i ne može se zaključiti konačno djelovanje pojedinih mišića na koštani sustav segmenata tijela. Daljnja istraživanja većine radova u kojima se istraživalo u kojoj je mjeri zamah rukama povezan s izvedbom vertikalnog skoka ukazuju na velik doprinos različitih modaliteta izvedbe zamaha rukama, koje u koordinaciji sa trupom i nogama, određuju maksimalnu visinu vertikalnog skoka.

Povezanost visine odraza i suprotnog kretanja, tj spuštanja u počučanj, s izvedbom vertikalnog skoka, ispituje se već gotovo četiri desetljeća (*Asmussen i Bonde-Petersen, 1974; Bosco i Komi, 1979; Bosco, Viitasalo, Komi i Ito, 1981; Bosco, Viitasalo, Komi i Luhtanen, 1982; Komi, 1984; Fukashiro i Komi, 1987; Sagawa, Kamuro i Matsumoto, 1989; Bobbert, Gerritsen, Litjens i van Soest, 1996; Bobbert i Casius, 2005*), i na osnovu tih istraživanja dokazano je da se veća visina vertikalnog skoka ostvarivala upravo na način kada se u izvedbu gibanja uključilo i spuštanje u počučanj uz istovremeni zamah rukama.

Kako bi dokazali teoriju o stvaranju veće mišićne sile i momenta gibanja nastaloj pri ekscentričnoj kontrakciji ekstenzora mišića zgloba kuka uzrokovanoj spuštanjem u počučanj, Bobbert i Cassius (2005), koristili su dvodimenzionalni neuromišićni skeletni model kako bi provjerili na koji način mišići ekstenzora kuka mogu stvoriti više mišićne sile i veći mišićni rad i to u prvih 30% raspona skraćivanja mišićnih vlakana. Upravo u tom razdoblju ekscentrične kontrakcije, koja prethodi koncentričnoj, odnosno samom izvođenju skoka, ekstenzori zgloba kuka stvaraju veću aktivaciju ekscentrično-koncentričnom kontrakcijom, nego u vertikalnom skoku koji se izvodi iz mirovanja u počučnju, kao što je to slučaj pri izvođenju vertikalnog skoka bez pripreme. Na osnovu toga veća ostvarena visina vertikalnog skoka može se pripisati izvršenom većem mišićnom radu mišića ekstenzora kuka (*Fukashiro i Komi, 1987; Bobbert i sur., 1996; i Bobbert i Casius, 2005*).

Spuštanje u počučanj, odnosno ekscentrična kontrakcija ekstenzora mišića nogu, nije jedina strategija koja se koristi za poboljšanje visine vertikalnih skokova.

Nekoliko ispitivača (*Payne i sur., 1968; Harman i sur., 1990*), ustanovilo je da se mjerena sila reakcije podloge () u kasnijoj fazi odraza povećala ako su ispitanici koristili zamah rukama, što je bio glavni razlog u poboljšanju visine vertikalnog skoka.

Prema jednom od teorema (*Lees i sur., 2004; Hara i sur., 2006*), moguće je pomoću matematičkih jednadžbi i postojećih zakona fizike, izračunati izvršeni mišićni rad i pretvoriti ga u kinetičku energiju. Prema tom teoremu, energija je sposobnost nekog tijela ili mase tvari da obavi neki rad, a isto se tako može reći da su rad i energija ekvivalentni pojmovi. Sukladno tome, promjena kinetičke energije jednaka je izvršenom radu, a pri izvođenju vertikalnog skoka maksimalno postignuta visina skoka gotovo je jednaka količini mišićnim radom stvorene energije. Konkretno, što je veća stvorena mišićna sila odraza to će i rad koji stvaraju mišići biti veći, a ujedno će i kinetička energija (energija gibanja) biti veća.

Iz perspektive tog teorema, različite grupe autora Lees, Vanrenterghem i Clercq (2004), kao i Hara, Shibayama, Takeshita i Fukashiro (2006), istraživali su ulogu zamaha rukama kod vertikalnih skokova. Hara i suradnici su u svom istraživanju željeli utvrditi na koji način je zamah rukama povezan s radom donjih ekstremiteta kod vertikalnog skoka iz počučnja. Zaključili su da povećanje visine vertikalnog skoka sa zamahom rukama uglavnom proizlazi iz većeg rada donjih ekstremiteta (rad u zglobu kuka i skočnog zgloba), a što je jedan od zaključaka tog istraživanja, rezultat dodatnog opterećenja upravo donjih ekstremiteta uslijed povećane kinetičke energije stvorene izvođenjem zamaha rukama. Iako je povezanost izvođenja zamaha rukama i pripreme tijela na samu izvedbu vertikalnog skoka bio predmet mnogih studija, još uvijek nije poznato na koji je način kombinacija obje strategije povezana s radom zglobova i izvedbu vertikalnog skoka.

Uočeno je da zamah rukama i izvođenje vertikalnog skoka iz počučnja s pripremom istovremeno može pozitivno djelovati na povećanje visine vertikalnog skoka ali također i negativno, ovisno o tehničkoj kvaliteti izvedbe skoka. Dakle, interakciju dva različita načina izvođenja vertikalnog skoka, izvođenje s pripremom, te izvođenje vertikalnog skoka sa zamahom rukama u odnosu na ovu teoriju tek je potrebno u cijelosti ispitati.

**Luhtanen i Komi (1978)** su proučavali povezanost pojedinih segmenta tijela s izvedbom vertikalnog skoka. Osam vrhunskih sportaša (6 odbojkaša i 2 košarkaša) izvodili su vertikalan skok stojeći na platformi za mjerenje sile reakcije podloge. Za vrijeme izvođenja zadatka ispitanici su snimani „*Locam 51-0003*” kamerom frekvencije 100 slika u sekundi. Zadatak ispitanika bio je da izvedu serije vertikalnih skokova i to na način da su u pojedinu izvedbu skoka uključivali unaprijed određene segmente tijela. Na osnovu izmjerenih podataka izračunati su udjeli pojedinih segmenata tijela u izvedbi vertikalnog skoka. Konkretno, na vertikalno ubrzanje centra težišta tijela djelovalo se na način da se vertikalan skok izvodio samo podizanjem na prste; zatim pokretom iz zgloba koljena na način da je ispitanik u zglobu koljena izvodio pregib od cca 90o, te iz čučnja aktivacijom mišića nogu izvodio brzu ekstenziju; pretklonom i brzim zaklonom trupa; zaklonom glave; zamah opruženim rukama; zamah pogrčenim rukama u zglobu lakta od cca 90o i zamah pogrčenim rukama u zglobu lakta od cca 45o. Dobiveni rezultati upućuju na to da pojedini zglobovi sudjeluju u izvedbi vertikalnog skoka s mjesta i to: zglob koljena 56%, plantarna fleksija 22%, zaklon trupa 10%, zamah pruženim rukama 10% i zaklon glave 2%. Zanimljivo je da se velik broj autora iz ovog područja koje istražuje motoričku kretnju vertikalnog skoka, sa svim svojim različitostima u izvođenju, u gotovo svim kasnijim radovima pozivao na ovaj članak, te se može zaključiti da je ovo istraživanje stvorilo nove postavke za daljnji tijek razvoja znanstvenih istraživanja u ovom području.

**Khalid, Armin i Bober (1990)**, u svom su istraživanju mjerili povezanost gibanja ruku u trenutku odraza kod vertikalnog skoka. U istraživanju je sudjelovalo 28 ispitanika s različitim tehnikama izvođenja zamaha ruku pri izvođenju vertikalnog skoka. Ispitanici su prosječne tjelesne visine 176,82 cm (±6,76), tjelesne mase 72,43 kg (±5,90), te 23,61 godine starosti (±6,76). Zadatak svakog pojedinog ispitanika bio je da na platformi za mjerenje sile reakcije podloge, Kistler, izvede tri serije skokova i to slijedećim redoslijedom: test bez pripreme tijela s rukama izoliranim na kukovima i sa izvedenim zamahom rukama, te test s pripremom tijela bez izvedenog zamaha kao i sa izvedenim zamahom rukama. Osim sila reakcije podloge, pomoću električnog goniometra mjereni su kutovi u zglobovima koljena, te su svi podaci pohranjeni i obrađeni na računalu ZX Spectrum.

Izračunati su visina skoka, vrijeme trajanja izvođenja zadataka, promjene kutova u zglobu koljena, kao i minimalna, maksimalna i tangencijalna sila reakcije podloge. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 2.1., iz kojih je vidljivo da su ruke imale pozitivan utjecaj na povećanje visine vertikalnog skoka neovisno u kojoj se varijanti izvedbe vertikalni skok izvodio, sa pripremom ili bez pripreme tijela.

***Tablica 2.1.*** *Kinematički i kinetički podaci izmjerenih skokova (prema Khalid i sur.,´90)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | skok bez pripreme i bez zamaha | skok bez pripreme i sa zamahom | skok s pripremom i bez zamaha | skok s pripremom i sa zamahom |
| visina skoka (cm) | 31,67 (±4,79) | 35,50 (±5,13) | 33,53 (±4,90) | 37,17 (±5,60) |
| vrijeme trajanja opružanja koljena (s) | 0,326 (±0,071) | 0,364 (±0,097) | 0,311 (±0,090) | 0,340 (±0,060) |
| početni položaj koljena (°) | 84,31(±12,10) | 87,44(±12,90) | 168,56(±8,75) | 168,38(±9,70) |
| minimalni kut koljena na kraju odraza (°) | 78,24(±12,04) | 79,29(±11,15) | 68,40(±15,79) | 69,51(±13,34) |
| minimalna sila reakcije podloge (N) | 558,31(±110,52) | 476,86(±144,70) | 320,33(±121,16) | 317,89(±123,00) |
| maksimalna sila reakcije podloge (N) | 1538,90(±225,80) | 1655,00(±229,10) | 1644,03(±275,48) | 1620,94(±211,28) |
| tangencijalna sila (N/s) | 7602,73(±3158,87) | 7334,50(±2045,80) | 7458,64(±3303,90) | 7888,54(±2935,43) |

**Dowling i Vamos (1993)** proveli su istraživanje u kojem su mjerili 97 ispitanika (46 muškaraca i 51 ženu), za vrijeme izvođenja maksimalnog vertikalnog skoka, pomoću testa s pripremom tijela i sa zamahom rukama, te su na osnovu rezultata dobivenih mjerenjem izračunali povezanost maksimalne visine odraza u vertikalnom skoku i ukupno 18 mjerenih kinematičkih i kinetičkih varijabli. Standardno je mjerena brzina centra težišta tijela u trenutku odraza, koja se kretala u rasponu od 1,72 m**.**s-1 do 3,24 m**.**s-1, a prosječna vrijednost iznosila je 2,84 m**.**s-1 (±0,04). Maksimalne visine skoka kretale su se u rasponu od 15,1 cm, do 53,6 cm.

U statističkoj obradi podataka pomoću višestruke regresijske analize, od svih 18 mjerenih varijabli izolirano je šest prediktora koji su značajno povezani s provedenim testom, od kojih su izolirana tri prediktora koji objašnjavaju gotovo 70% varijance, a to su: vrijeme trajanja faze odraza, maksimalno stvorena sila u odrazu (koja kao samostalna varijabla najbolje objašnjava povezanost s koeficijentom korelacije od r=0,861) i vrijeme koje je potrebno da se maksimalna negativna brzina smanji na najmanju. Test je izveden na multikomponentnoj platformi za mjerenje sila reakcije podloge, AMTI model OR6-5. Zaključeno je da postoji velika povezanost između stvorene mišićne sile u trenutku odraza i maksimalne visine dosega vertikalnog skoka, izvodeći ga testom s pripremom tijela i sa zamahom rukama.

**Carr i Gentile (1994)**, u istraživanju provedenom na šest ispitanika starih 24 godine (±2,3), tjelesne mase 71,2 kg (±9,0), te visine 175,0 cm (±0,10), željeli su utvrditi povezanost zamaha ruku s donjim dijelom tijela i nogama pri podizanju tijela sa stolca, odnosno iz sjedećeg položaja do uspravnog stava. Ispitanici koji su sjedili na stolcu bez naslona i rukohvata imali su zadatak da se uz pomoć tri različite varijante zamaha rukama (*uobičajen, ograničen i upirujući*), ustanu sa stolca u uspravan položaj trupa. *Uobičajeni* zamah rukama započinje početnim položajem u kojem su ispitanici stisnuli dlanove ruku između svojih bedara te tada izvodili aktivnost uspravljanja. *Ograničen* zamah je takav „zamah“ u kojem su ruke pogrčene u zglobu lakta pod 90° a nadlaktice u priručenju. *Upirujući* zamah je zamah pri kojem su ispitanici pri ustajanju izvodili pokret rukama pri kojem su upirali u metu koja je bila postavljena ispred njih u visini očiju u stojećem stavu. Na desnoj strani tijela ispitanicima je za potrebe mjerenja postavljeno sedam reflektirajućih markera pomoću kojih je određen pet segmentalni model tijela. Zadatak je sniman video kamerom (National WVO-F10 CCD), smještenoj s desne strane tijela ispitanika u sagitalnoj ravnini, namještenoj na brzinu snimanja od 25 Hz, te brzinu zatvarača 1/1000 s. Mjereni su kinematički parametri segmenata tijela, rad zgloba kuka, zgloba koljena i skočnog zgloba, relativni momenti sile u pojedinim zglobovima, te sila reakcije podloge. Sila reakcije podloge bilježena je pomoću platforme Kistler, tip 9281, koja je pomoću šest kanala bilježila signale brzinom uzorkovanja od 200 Hz.

Rezultatima je utvrđeno da su najveće izmjereni momenti sila u pojedinom zglobovima, obzirom na izvođenje pojedine varijante izvođenja zamaha rukama, bili najveći u zglobu kuka, pri izvođenju upirujućeg zamaha 3,15Nm/kg (±0,4), zatim zglobu koljena pri izvođenju ograničenog zamaha 1,21 Nm**/**kg (±0,6), te skočnom zglobu pri izvođenju uobičajenog zamaha 2,31 Nm**/**kg (±0,3).

**Cordova i Armstrong (1996)** proveli su istraživanje kako bi utvrdili stvarnu silu reakcije podloge za vrijeme izvođenja vertikalnog skoka, te povezanost između stvorene najveće vertikalne sile reakcije podloge i vertikalnog impulsa za vrijeme izvođenja protokola mjerenja jednonožnog vertikalnog odraza, odnosno kako bi utvrdili test-retest pouzdanost ovog mjernog protokola. Dva seta mjerenja provedena su unutar 48 sati, gdje je devetnaest ispitanika izvodilo pet maksimalnih vertikalnih skokova s mjesta bez zamaha rukama, a testovi su se izvodili odrazom sa desne noge. Ispitanici su bili studenti *Health Promotion and Human Performance* Sveučilišta u Toledu, 12 muškaraca i 7 žena, 21,3 godine starosti (±4,6) za muške ispitanike, odnosno 23,2 godine starost (±5,3), za ženske ispitanike. Tjelesna visina muškaraca bila je 177,0 cm (±0,05), a tjelesna težina 77,3 kg (±13,0). Tjelesna visina žena bila je 169,0 cm (±0,10), a tjelesna težina 60,09 kg (±11,74). Pomoću platforme za mjerenje sila reakcije podloge (AMTI, model OR5-1; Newton, MA), frekvencijom uzorkovanja 200 Hz mjerene su maksimalne vertikalne sile reakcije podloge, kao i vertikalni impuls sile. Izmjerena maksimalna sila reakcije podloge (izračunata u postotku težine tijela *%TT*), ukazuje na veliku pouzdanost ovog mjernog protokola i to zato što je koeficijent interklas korelacije za ovu varijablu iznosio 0,94 uz standardnu pogrešku mjerenja od 0,003*%TT*. U prvom mjerenju maksimalna sila reakcije podloge iznosila je 1,90*%TT* (±0,23), a u drugom 1,92*%TT* (±0,26). Za vertikalni impuls sile dobiven je jako mali koeficijent interklas korelacije 0,22*%TT/s* uz standardnu pogrešku mjerenja od 0,24*%TT/s*. U prvom mjerenju vertikalni impuls sile iznosio je 1,30*%TT/s* (±0,50), a u drugom mjerenju zabilježeno je svega 0,91*%TT/s* (±0,22). Zaključeno je da se pomoću ovog protokola mjerenja, jednonožnog vertikalnog odraza, mogu utvrditi relevantni podaci o funkcionalnoj snazi nogu, te da se protokol može provoditi kao alternativna metoda mjerenja eksplozivne snage nogu.

**Aragon-Vargas i Gross (1997)** su u svom istraživanju pokušali utvrditi kineziološke faktore koji mogu na pouzdan način razdijeliti dobro i loše izvođenje vertikalnog skoka, s obzirom na kinematičke i kinetičke faktore koji su povezani s izvođenjem zadatka. Pedeset dvije muške osobe izvodile su svaka po pet maksimalnih vertikalnih skokova, rukama izoliranim na kukovima. Sile reakcije podloge i video podaci prikupljani su za vrijeme izvedbe testa, a snaga svakog ispitanika testirana je izometrički. Na osnovu višestruke regresijske analize izračunato je trideset i pet prediktorskih varijabli od čega je na razini cijelog tijela najbolji onaj model koji je uključivao maksimalne i prosječne vrijednosti izmjerene mehaničke snage, te taj model objašnjava 88% varijance vertikalnog skoka s mjesta na razini značajnosti, p<0,05. Na razini segmenata tijela, model objašnjava gotovo 60% varijance vertikalnog skoka na razini značajnosti, p<0,05. Ono što je bilo neočekivano, kako su utvrdili i sami autori, varijable koje mjere koordinaciju tijela u izvedbi zadatka nisu se pokazale statistički značajno povezane s rezultatom izvedbe vertikalnog skoka. Rezultati ovog istraživanja nedvojbeno ukazuju da su se najbolji rezultati ostvarivali kada se razvijala veća snaga mišića koji sudjeluju u izvedbi vertikalnog skoka.

**Feltner i suradnici (1999)** proveli su istraživanje na dvadeset i pet igrača odbojke, 14 muškaraca i 11 žena, koji su tada bili članovi odbojkaških ekipa *Pepperdine University*, Malibu. Muški ispitanici su u prosjeku bili visoki 193,8 cm (±6,1), tjelesne težine 88,2 kg (±6,6), te 20,5 (±1,7) godina starosti. Ženske ispitanice su bile prosječne tjelesne visine 173,7 cm (±8,8), tjelesne težine 69,3 kg (±7,1), i 18,5 (±0,7) godina starosti. Ispitanici su provodili pet serija vertikalnog skoka slijedećim testovima: skok s pripremom tijela uz izveden zamah rukama i skok bez izvedenog zamaha rukama, stojeći na platformi za mjerenje sila reakcije podloge. Autori su željeli utvrditi razliku kinematičkih i kinetičkih parametara izvedenog testa s pripremom tijela, uzimajući u obzir je li se skok izvodio sa zamahom rukama ili bez zamaha. Prije same izvedbe zadatka, ispitanici su antropometrijski obrađeni (prema Hinrich, 1985), te je na tijelo ispitanika postavljeno devet reflektirajućih markera (centar glave i centar desnog zgloba ramena, zglob lakta i zapešće, zglob kuka, koljena, skočni zglob, peta i palac stopala), koji su tvorili šestsegmentalni model tijela.

Ispitanici su za vrijeme izvođenja zadatka snimani s dvije video kamere, frekvencije 60 slika u sekundi uz brzinu zatvarača 1/1000 s. Kamere su bile postavljene u dvije različite visine (72 cm, i 247 cm), tako da su snimale desnu stranu tijela ispitanika za vrijeme izvedbe zadatka. Ispitanici su zadatak izvodili na platformi za mjerenje sila reakcije podloge, Kistler (9281B), s uzorkovanjem od 1000 Hz, koristeći „Bioware software“(Kistler Instrument Company, Amherst, NY), za obradu podataka. Pomoću jedinice za video sinkronizaciju (Peak Performance Technologies), izvršena je automatska digitalizacija video zapisa. Izračunati su pomak, brzina, kao i vertikalno ubrzanje centra težišta tijela, te linearno i vertikalno ubrzanje svakog pojedinog postavljenog markera na tijelu. Također je izračunata i kinematika kako pojedinih zglobova, kutna brzina i kutno ubrzanje, tako i ukupna orijentacija kutova tijela. Svi podaci su standardizirani te su statistički obrađeni pomoću analize varijance. Između ostalog izmjereno je da je vertikalni pomak centra težišta tijela pri odrazu sa zamahom rukama iznosio 71,1 %ATV (±1,7), vertikalna brzina centra težišta tijela u trenutku odraza iznosila je 2,75 m**.**s-1 (±0,28), maksimalno vertikalno ubrzanje iznosilo je 14,4 m**.**s-2 (±2,8), vrijeme trajanje pozitivnog ubrzanja iznosio je 9,96 s (±0,01). Za razliku od skoka izvedenog bez zamaha rukama, vertikalni pomak centra težišta tijela pri odrazu iznosio je 67,8 %ATV (±1,8), vertikalna brzina centra težišta tijela u trenutku odraza iznosila je 2,44 m**.**s-1 (±0,23), maksimalno vertikalno ubrzanje iznosilo je 12,4 m**.**s-2 (±2,2), vrijeme trajanje pozitivnog ubrzanja iznosio je 9,96 s (±0,01). Izmjerena vertikalna komponenta sile reakcije podloge, izražena u postocima tjelesne težine (%TT) ukazuje na to da ne postoji statistički značajna razlika u varijantama izvođenja testa s pripremom tijela, izvedba sa zamahom rukama i bez zamaha, te na kraju propulzivne faze odraza iznosi 2,0%TT (±0,3) za skok sa zamahom, odnosno 2,1%TT (±0,3) za izvedbu skoka bez zamaha rukama.

Na osnovu rezultata dobivenih analizom varijance, autori su zaključili da su ispitanici u prosjeku ostvarili više dosege vertikalnog skoka kada su izvodili test s pripremom tijela i sa zamahom rukama, nego kada ruke nisu bile uključene u skok, a također je i moment zgloba koljena porastao za 28% u prve dvije trećine faze opružanja koljenskog zgloba, neposredno prije faze odraza.

Također, vertikalni skokovi u kojima se ne koristi zamah rukama stvaraju veću silu na zglobu kuka u prve dvije trećine odraza, a zamah rukama uzrokuje stvaranje veće sile na zglobovima nogu. Sve navedeno uvjetuje stvaranje i veće koncentrične kontrakcije dominantnih mišića ekstenzora nogu, zaključili su autori na kraju istraživanja.

**Ashby i Heegaard (2002)** su istraživali ulogu zamaha rukama u izvedbi skoka u dalj s mjesta. Tri ispitanika izvela su tri skoka sa zamahom rukama i tri skoka s rukama postavljenim na kukove, *ograničen zamah*, kako su ga autori nazvali. Glavni cilj istraživanja bio je utvrditi kako je zamah rukama povezan s izvođenjem skoka u dalj s mjesta. Također su željeli ispitati razlike između 3D i 2D mjernog sustava, te stvoriti pouzdani mjerni protokol pomoću 2D sustava. Ispitanici su zadatak izvodili iz početne pozicije s platforme za mjerenje sila reakcije podloge, te su autori koristili 3D sustav za mjerenje kinematike pojedinih segmenata tijela (Qualisys, INC., East Windsor, CT). Koristili su četiri video kamere s brzinom snimanja od 120 slika u sekundi, koje su pomoću direktne linearne transformacije (DLT), bilježile kretanje segmenata tijela označenog pomoću pasivnih reflektirajućih markera postavljenih na kožu ispitanika u području ramena, lakta, zapešća, kuka, koljena, gležnja i nožnih prstiju, tvoreći tako šestsegmentalni model. Izračunati su kinematički parametri kretanja centra težišta tijela (prema Hinrichs, 1990), dužina skoka u centimetrima, te kinetički parametri skoka u dalj s mjesta, vertikalna i horizontalna sila odraza.

Ostvareni rezultata u skok u dalj činio je horizontalni pomak pete između početnog stanja i pozicije doskoka. Dobiveni rezultati prikazuju da ispitanici kada u svojoj izvedbi skoka u dalj koriste i ruke, u prosjeku skaču 21,2% dalje (209,7 cm, ±3,0), nego kada u skok nisu uključene ruke (172,7 cm, ±3,0). Uočeno je da se povećala brzina kretanja centra težišta tijela i to kada su upotrebljavali zamah rukama (3,32 m**.**s-1, ±0,03), a manja brzina je bila registrirana kada su skok izvodili bez zamaha ruku (2,95 m**.**s-1, ±0,03). Zabilježena su veće i vertikalne (*VS*) i horizontalne sile (*HS*) odraza (u postocima tjelesne težine, *%TT*), i to kada su ispitanici izvodili skok sa zamahom rukama (*ZR*), (*VSZR*=2,31%TT, ±0,08; HSZR=0,85%TT, ±0,04). Osim toga, uočeno je da, kada su ispitanici koristili zamah rukama pri izvedbi skoka, bolje su održavati ravnotežu tijela pri odrazu kao što su i bolje i održavali dinamičku ravnotežu za vrijeme leta u skoku.

**Feltner i suradnici (2004)** pokušali su utvrditi doprinose kretanja segmenata tijela na vertikalnu silu reakcije podloge kod vertikalnih skokova s pripremom tijela, izvedenih sa zamahom i bez zamaha rukama. S ciljem daljnjeg razumijevanja uzročno-posljedičnih odnosa između kretanja pojedinih segmenata tijela i promjena u reakciji sile podloge, sekundarna svrha ispitivanja bila je ispitati povezanost zamaha rukama na rezultirajući ukupni moment sile zgloba kuka, zgloba koljena i skočnog zgloba, kao i vrijeme potrebno za stvaranje vertikalne brzine propulzivne faze skoka. Petnaest ispitanika, studenata, tjelesne visine 185,2 cm (±7,2), tjelesne mase 79,7 kg (±6,9), i 21,2 (±1,2), godina starosti, sudjelovalo je u istraživanju. Svaki od ispitanika je imao natjecateljsko iskustvo u sportovima u kojima je zamah rukama od velike važnosti za uspješno izvođenje aktivnosti. Provedeno je po pet serija svake pojedine varijante vertikalnog skoka s pripremom tijela, sa i bez zamaha rukama, a mjereni su slijedeći podaci: vertikalno ubrzanje i pomak centra težišta tijela, impuls sile, vertikalna sila reakcije podloge i to mjereći u četiri različite točke propulzivne faze odraza. Na tijelo ispitanika postavljeno je 25 reflektirajućih markera, označavajući šest segmentalni model tijela koji je sniman pomoću četiri video kamere s frekvencijom snimanja od 120 Hz, te je pomoću tih podataka u sustavu Motion Analysis Corporation(Santa Rosa, CA), izračunat centar težišta tijela rigidnog modela skakača. Sustav je kalibriran pomoću referentnog okvira u obliku kocke, dimenzija 0,75x0,50x0,75 m. Sila reakcije podloge bilježena je pomoću Kistler platforme, model 9281B (Kistler Instrument Company Amherst, NY), frekvencije uzorkovanja od 1000Hz. Pomoću analize varijance statistički su obrađeni kinematički i kinetički podaci ispitanika. Dobiveni rezultati upućuju da je vertikalno ubrzanje tijela u trenutku odraza, kada se izvodilo uz pomoć ruku, iznosilo 3,07 m**.**s-2 (±0,23), dok je bez izvedenog zamaha vertikalno ubrzanje u trenutku odraza bilo 2,81 m**.**s-2 (±0,18). Vertikalni pomak centra težišta tijela u trenutku odraza, kada se izvodio uz pomoć zamaha rukama iznosio je 1,25m(±0,06), odnosno 1,16m(±0,07), kada se zadatak izvodio bez zamaha ruku. Izmjereno maksimalno ubrzanje centra težišta tijela, kada se skok izvodio uz pomoć zamaha rukama, iznosilo je 15,94 m**.**s-2 (±2,53), a kada se skok izvodio bez zamaha ruku, vertikalno ubrzanje centra težišta tijela iznosilo je 16,14 m**.**s-2 (±3,87).

Srednja vrijednost izmjere sile reakcije podloge kada se skok izvodio uz pomoć zamaha rukama, iznosila je 1654,6 N (±240,2), a kada se skok izvodio bez zamaha ruku, srednja vrijednost sile reakcije podloge iznosila je 1644,9 N (±255,5). Jedna od zanimljivosti ovog istraživanja je i to da su autori mjerili i doprinos pojedenih dijelova tijela u ubrzanju centra težišta tijela. Tako je za ruke (mjereno na zapešću) izmjereno da su pri izvedbi vertikalnog skoka ostvarile prosječno ubrzanje od 8,44 m**.**s-2 (±1,90). Kao zaključak autori na osnovu izmjerenih podataka i rezultata dobivenih statističkom analizom zaključuju slijedeće. Kada se vertikalan skok s pripremom provodi uz pomoć zamaha ruku, stvara se veći impuls sile u propulzivnoj fazi odraza, te također i veće ubrzanje centra težišta tijela nego kada se isti zadatak izvodio bez zamaha ruku. Također je vidljivo da su ruke doprinijele stvaranju veće sile reakcije podloge, ali i da zamah rukama smanjuje sposobnost mišića ekstenzora zgloba kuka, zgloba koljena i skočnog zgloba da u ranoj propulzivnoj fazi odraza stvore veću mišićnu silu odraza. Zaključeno je da kada su ispitanici izvodili vertikalan skok sa zamahom, aktivacija ruku je dovela je do poboljšanja izvedbe tih istih mišićnih skupina (ekstenzora zgloba kuka, zgloba koljena i skočnog zgloba), stvaranja veće mišićne silu odraza u kasnijoj propulzivnoj fazi u usporedbi sa skokom bez zamaha ruku.

**Lees i suradnici (2004)** su u svom istraživanju željeli utvrditi povećava li zamah rukama visinu vertikalnog skoka. Mjerenje su proveli na devetnaest sportaša koji su u prosjeku bili 180,0 cm (±6,5), tjelesne visine, 75,4 kg (±13,3) tjelesne mase i 19,9 (±3,9), godina starosti, svi bivši natjecatelji u različitim sportovima, od atletike do sportske gimnastike. Ispitanici su izvodili šest maksimalnih vertikalnih skokova s pripremom tijela i to tri uz pomoć zamaha rukama i tri skoka bez izvedenog zamaha rukama. Skokove su izvodili na platformi za mjerenje sile reakcije podloge (Kistler, Winterthur, Switzerland). Na tijelo svakog od ispitanika postavljeno je 16 reflektirajućih markera za definiciju dvanaestsegmentalnog modela tijela (prema Dampster, 1955). Trodimnezionalna postavka i kretanje markera snimano je sa šest video kamera frekvencije 240Hz, a slika je obrađivana pomoću optoelektroničkog sustava (Proreflex, Qualysis, Savedalen, Sweden). Također su pratili i elektromiografiju mišića *rectus femoris, vastus lateralis, biceps femoris* i *gastrocnemius* za vrijeme izvođenja vertikalnih skokova, frekvencijom od 960 Hz (TEL100, Bio Pac Systems, Goleta, CA, USA).

Kinematički podaci dobiveni mjerenjem korišteni su za izračun potencijalne energije ruku, kao i momenti sile sva tri segmenta ruke. Također su izračunali visinu i brzinu svakog pojedinog segmenta tijela u odnosu na ramena ispitanika. Relativnu brzinu i visinu 12 segmnetalnog modela izračunali su na osnovu vanjskog referentnog okvira, a izračunata je i cjelokupna kinetička i potencijalna energija tijela na osnovu visine skoka i brzine kretanja centra težišta tijela. Koristeći metodu inverznog dinamičkog standarda izračunali su ukupnu proksimalno-distalnu energiju segmenata, i ukupan moment sile zglobova (skočnog zgloba, zgloba koljena, zgloba kuka, ručnog zgloba, zgloba lakta i zgloba ramena). Rad i snagu izvršenu u zglobovima izračunali su prema standardnim procedurama (de Koning i van Ingen Schenau, 1994). U tablici 2.2., prikazane su srednje vrijednosti rezultata dobivenih mjerenjem kinematičkih podataka centra težišta tijela za vrijeme izvođenja vertikalnog skoka uz pomoć zamaha rukama kao i bez pomoći zamaha ruku.

***Tablica 2.2.*** *Kinematički podaci za test s pripremom tijela. (prema Lees i sur.,´04).*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| varijabla | skok s pripremom tijela sa zamahom | skok s pripremom tijela bez zamaha |
| maksimalna visina skoka (m) | 0,53 (±0,04) | 0,45 (±0,04) |
| minimalna brzina (m) | -1,07 (±0,21) | -1.13 (±0,20) |
| brzina CTT u trenutku odraza (m**.**s-1) | 2,81 (±0,14) | 2.58 (±0,14) |
| fleksija trupa (°) | 44,80 (±9,50) | 39,50 (±9,70) |
| vrijeme trajanja skoka (s) | 0,96 (±0,14) | 0,86 (±0,14) |

Srednje vrijednosti rezultata potencijalne (*PE*) i kinetičke energije (*KE*) u trenutku odraza, kao i izvršeni rad za vrijeme opružanja tijela iz najnižeg položaja do trenutka faze leta u trenutku odraza prikazani su u tablici 2.3. Na osnovu izmjerenih i izračunatih podataka, autori su zaključili da kada su ispitanici izvodili test s pripremom tijela sa zamahom ruku došlo je do povećanja visine vertikalnog skoka za 28%, kao i povećanja brzine centra težišta tijela u trenutku odraza za 72%. Također se povećala i ukupna stvorena energija, te *PE* i *KE* kada su ispitanici izvodili test s pripremom tijela sa zamahom rukama.

***Tablica 2.3.*** *Potencijalna i kinetička energija u trenutku odraza i izvršeni rad. (prema Lees i sur.,´04).*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| varijabla | test s pripremom tijela sa zamahom (J.kg-1) | test s pripremom tijela bez zamaha (J.kg-1) |
| PE u trenutku odraza | 1,37 | 1,14 |
| KE u trenutku odraza | 3,95 | 3,33 |
| ukupan izvršen rad | 8,13 | 7,31 |
| izvršen rad, skočni zglob | 2,06 (±0,35) | 2,03 (±0,31) |
| izvršen rad, koljeno | 1,94 (±0,47) | 1,94 (±0,50) |
| izvršen rad, kuk | 3,24 (±0,62) | 2,84 (±0,78) |
| izvršen rad, rame | 0,63 (±0,26) | 0,03 (±0,02) |
| izvršen rad, lakat | 0,28 (±0,16) | 0,00 (±0,01) |
| ukupan izvršen rad na zglobovima | 8,15 | 1,31 |

**Vanezis i suradnici (2005)** na uzorku od 50 nogometaša istraživali su povezanost snage donjeg dijela tijela u izvedbi vertikalnih skokova i to pomoću testa s pripremom tijela, sa i bez zamaha ruku. Ispitanici su podijeljeni u dvije skupine i to po kriteriju mogućnosti ostvarivanja viših i nižih maksimalnih vertikalnih skokova. Kriterij je dobiven na osnovu izvođenja vertikalnog skoka svakog od 50 ispitanika koje su izvodili na početku mjerenja. Potom su ispitanici podijeljeni u dvije grupe (*niža* i *viša*) izveli po tri vertikalna skoka sa zamahom i potom tri vertikalna skoka bez zamaha ruku. Zadatak je izvođen na platformi za mjerenje sila reakcije podloge (model 9287B, Kistler, Švicarska), a ispitanici su imali postavljenih 16 reflektirajućih markera (prema Plagenhoef, 1971), pomoću kojih je tijelo podijeljeno u 12 segmentalni model predložen od Dempster-a (1955), za odrasle muške ispitanike. Kako bi se mogla provesti točnija analiza pokreta, zadatak je sniman sa šest video kamera, frekvencija snimanja bila je 240Hz, te je kinematika pokreta obrađena pomoću 3D programa za analizu pokreta (ProReflex, Qualysis, Savedalen, Švedska).

Izračunata su težišta pojedinih segmenata, kao i centar težišta tijela, te kutovi u pojedinim zglobovima. Od kinetičkih parametara izračunati su momenti sila na skočnom zglobu, zglobu koljena i zglobu kuka. Također je izračunat i rad pojedinih zglobova. Rezultati su obrađeni t-testom za nezavisne uzorke, a Pearsonovom korelacijskom analizom je utvrđena povezanost na razini od p<0,05. Dobiveni rezultati ukazuju da je grupa koja je bila označena kao *viša*, ostvarila više skokove u oba testa i to za 11cm u testu s pripremom tijela i sa zamahom ruku, te 9 cm u testu s pripremom tijela i bez zamaha ruku. Također, ta je ista grupa ispitanika ostvarila veće momente na pojedinim mjerenim zglobovima, kao i rad u obje varijante izvedbe testa s pripremom tijela. Rezultati istraživanja ukazuju da je sposobnost izvođenja višeg dosega skoka u vertikalnom skoku, povezana s većom stvorenom mišićnom silom, te bržom izvedbom pokreta u cjelini.

**Marković i suradnici (2007)** u svom su istraživanju pokušali utvrditi povezanost između postignute visine vertikalnog skoka kao pokazatelja mišićne snage nogu nezavisne od veličine tijela. Dosadašnja istraživanja i predviđanja, kako teorijska (Astrand i Rodhal, 1986; McMahon, 1984), tako i eksperimentalna (Jaric i sur., 2005) jasno pokazuju kako je mišićna snaga u pozitivnoj korelaciji s veličinom tijela (tjelesnom masom), dok je visina skoka nezavisna od veličine tijela. U istraživanju je sudjelovalo 150 studenata kineziologije u dobi od 18 do 26 godina. Njihova tjelesna masa i visina iznosile su 75,0 kg (±7,5), i 181,0 cm (±7,0). Nakon zagrijavanja svaki je ispitanik izveo pet probnih vertikalnih skokova iz polučučnja i s pripremom tijela na platformi za mjerenje sile reakcije podloge (Quattro Jump, Kistler, Švicarska). Nakon toga svaki ispitanik je izveo dvije varijante vertikalnog skoka, test bez pripreme tijela, te test s pripremom tijela. Oba vertikalna skoka ponavljala su se po tri puta, a samo su najviši skokovi izabrani za daljnje analize. Analizirani su: visina skoka, brzina centra težišta tijela i mišićna snaga generirana tijekom koncentrične izvedbe vertikalnog skoka. Povezanost visine skoka (h) u oba testa, s mišićnom snagom izraženom u apsolutnim vrijednostima (W) i vrijednostima normaliziranim s masom tijela (W/kg0,67) izračunata je pomoću Pearsonovog koeficijenta korelacije. Maksimalna registrirana visina skoka u testu bez pripreme, kao i u testu s pripremom tijela bila je 45,0 cm (±5,0), odnosno 49,0 cm (±5,3), dok je prosječna snaga u istim skokovima bila 1840 W (±243), i 2331 W (±347).

Korelacija visine skoka u skoku bez pripreme tijela s apsolutnom i normaliziranom mišićnom snagom u tom testu iznosila je r=0,43 i r=0,79, dok je korelacija visine skoka u skoku s pripremom tijela s apsolutnom i normaliziranom mišićnom snagom u tom testu iznosila r=0,50 i r=0,84. Najvažniji nalaz ovog istraživanja odnosi se na korelacije visine skoka bez pripreme i s pripremom tijela, s pripadajućom mišićnom snagom izraženom u apsolutnim vrijednostima, te je zaključeno da visina skoka predstavlja valjani indeks mišićne snage nezavisne od veličine tijela.

**Hara i suradnici (2008)** su u ovom istraživanju željeli utvrditi na koji je način zamah ruku povezan s izvođenjem dva testa eksplozivne snage nogu, skok bez pripreme tijela i skok s pripremom tijela. U istraživanju je sudjelovalo pet muškaraca, prosječne tjelesne visine 172,2 cm (±8,9), tjelesne mase 69,9 kg (±5,8), te 27,6 (±3,8) godina starosti. Na desnu stranu tijela ispitanika postavljeno je sedam referentnih markera pomoću kojih je provedena kinematička analiza pokreta. Ispitanici u izvodili maksimalne vertikalne skokove s pripremom tijela sa i bez zamaha rukama i skokove bez pripreme tijela sa i bez zamaha rukama, stojeći na platformi za mjerenje sile reakcije podloge Kistler, model 9281B. Svaki se zadatak izvodio po pet ponavljanja. Zadatak je sniman video kamerom (MEMRECAMc2s, NAC, Japan), frekvencijom od 200 Hz, koja je bila postavljena na stativ udaljen 7,2 m od platforme. Iza platforme i ispitanika nalazila se kalibracijska ploča (1 m x 2 m), prekrivena s 30 reflektirajućih markera, promjera 1cm. Kada su ispitanici izvodili test eksplozivne snage nogu sa zamahom rukama, svaki od ispitanika je opruženim rukama zaručio, zadržao poziciju zaručenja i tada izveo vertikalan skok izvodeći zamah upravo onako kako bi i inače izvodio zamah u uvjetima ispunjavanja sportske aktivnosti. U slučajevima kada su se skokovi izvodili bez zamaha ruku, ispitanici su postavili ruke o bok i zadržali tu poziciju za sve vrijeme izvođenja testova.

Na osnovu analize varijance, uspoređivani su rezultati mjerenja testova eksplozivne snage nogu, pri izvedbi oba skoka, sa i bez zamaha rukama, i to za maksimalnu visinu skoka, vertikalni pomak centra težišta tijela.

Vertikalni pomak centra težišta tijela izračunat je kao razlika visina između visine centra težišta tijela u trenutku odraza i maksimalne visine centra težišta tijela u trenutku najvećeg odraza, brzina centra težišta tijela u trenutku odraza, ukupan izvršeni rad cijelog tijela, kao i rad gornjeg i donjeg dijela tijela, te izvršeni rad u svakom od zglobova. Rezultati prikazani u tablici 2.4., a ukazuju na to da su se bolji rezultati vertikalnih skokova postizali kada se odraz izvodio uz koordiniranu akciju zamaha ruku i uz pripremu tijela za skok, uz veći izvršeni ukupni rad kako cijelog tijela tako i pojedinih dijelova tijela. Također je iz rezultata vidljivo da su ispitanici ostvarivali veće iznose izmjerenih varijabli za izvedbu vertikalnog skoka s pripremom tijela kada se izvodio uz zamah ruku.

***Tablica 2.4.*** *Rezultati istraživanja Hara i suradnici (2008).*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | skok bez pripreme i bez zamaha | skok bez pripreme sa zamahom | skok s pripremom i bez zamaha | skok s pripremom sa zamahom |
| visina skoka (cm) | 45,00 (±0,47) | 53,10(±0,70) | 49,30(±0,40) | 58,00 (±0,57) |
| vertikalno pomicanje CTT (cm) | 14,50 (±0,31) | 18,30(±0,27) | 17,70(±0,23) | 21,10 (±0,12) |
| brzina CTT u trenutku odraza (m**.**s-1) | 2,46 (±0,24) | 2,68(±0,26) | 2,62(±0,15) | 2.80 (±0,17) |
| izvršeni rad cijelo tijelo (102J) | 4,52 (±0,67) | 4,89 (±0,60) | 4,87(±0,85) | 5.50 (±0,77) |

**Riggs i Sheppard (2009)** proveli su istraživanje na trideset sportaša, odbojkaša na pijesku, 14 muškaraca i 16 žena, koji su izvodili testove za procjenu eksplozivne snage nogu sa i bez pripreme tijela na platformi za mjerenje sila reakcije podloge, AccuPower (AMTI, Frappier Acceleration, USA). Zadatak ispitanika bio izvesti tri skoka s pripremom tijela, zatim pasivni odmor u trajanju od 30 sekundi i zatim tri skoka bez pripreme tijela. U istraživanju se željelo utvrditi postoje li razlike između muških i ženskih odbojkaša na pijesku u rezultatima dobivenim mjerenjem sile reakcije podloge za vrijeme izvedbe obje varijante testa, snage te razlike u maksimalnoj visini vertikalnog skoka.

Izračunati su kinetički i kinematički parametri izvedbe skokova, i to: sila reakcije podloge pri odrazu, kao i snaga (točnije maksimalna i srednja vrijednost sile i snage), brzina, ubrzanja, kao i maksimalna razlika u visini centra težišta tijela prije i poslije izvedenog vertikalnog skoka jednim od zadanih testova. Dobiveni su rezultati na razini značajnosti od p<0,01 i to za visinu vertikalnog skoka gdje je prosjek visine centra težišta tijela kod muških ispitanika bio za 8,33 cm na višoj poziciji nego prosjek kod ženskih ispitanika. Pozitivne korelacije su dobivene u izvedbi skoka bez pripreme tijela i to za varijablu relativne maksimalne snage odraza (r=0,90), i relativne prosječne snage odraza (r=0,67). Kod muških ispitanika, najveća korelacija s visinom skoka pri izvedbi skoka bez pripreme tijela dobivena je kod varijable relativne maksimalne snage odraza (r=0,94), a za skok s pripremom tijela također je utvrđena visoka korelacija (r=0,83), između maksimalne visine skoka i relativne snage odraza. Dokazano je da postoji razlika između ispitanika i to u korist muških ispitanika koji su stvarali veću snagu pri odrazu te ostvarivali više maksimalne vertikalne skokove. Rezultati ovog istraživanja također ukazuju da su relativna maksimalna snaga i maksimalna visina odraza, čimbenici koji su u visokoj povezanosti s mogućnošću ostvarivanja vertikalnog skoka.

Grupe autora (*Aguado i sur., 1997; Izquierdo i sur., 1998; Ridderikhoff i sur., 1999*) u svojim su istraživanjima pokušale utvrditi povezanost u izvedbi vertikalnog skoka i skoka u dalj s mjesta, te kako je rezultat i izvedba jednog skoka povezana s rezultatom i izvedbom drugog skoka, na istoj grupi ispitanika. Međutim, znanstvenici u ovom istraživanju nisu ispitali ulogu ruku u skoku u dalj i u vertikalnom skoku. Nadalje, održavanje ravnoteže za vrijeme odraza i za vrijeme doskoka, te na koji način postavljanje ruku u položaj doskoka kod izvedbe skoka u dalj s mjesta pomaže pri postavljanju tijela u optimalan položaj za doskok (*Herzog, 1986*).

Istraživanja mnogih autora pokazala su da je čak 60% izvođenja vertikalnog skoka uvjetovano povećanjem zamaha rukama u posljednjoj fazi odraza, te da se ubrzanje posljednje faze odraza može povećati čak i 6-10% ako se upotrijebi zamah rukama. (*Luhtanen i Komi, 1979; Shetty i Etnyre, 1989; Harman i sur., 1990*).

Tako su grupe autora (Tablica 2.5.) u svojim istraživanjima utvrdili da su se veće sile reakcije podloge, mjerene u *FZ*ravnini, pojavljivale kada se vertikalni skok izvodio iz počučnja s pripremom tijela uz pomoć zamaha ruku, nego kada se izvodio na isti način ali s rukama o boku.

Također su i dobivene maksimalne visine odraza ispitanika u centimetrima više u onim skokovima koji se izvode uz pomoć zamaha ruku. U većini dosadašnjih istraživanja autori su ispitivali povezanost zamaha ruku i eksplozivne snage nogu tipa skočnosti s povećanjem vertikalnog skoka (Payne i sur., 1968; Khalid i sur., 1989; Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999), zatim, s ubrzanjem centra težišta tijela (Luhtanen i Komi, 1978; Shetty i Etnyre, 1989; Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999), stvorenom silom mišića nogu, utrošenim radom, te kutovima u skočnom zglobu, zglobu koljena i kukova (Vanrenterghem, 2004). Samo u nekim istraživanjima autori su mjerili brzine pojedinih segmenata tijela, (Hara i sur.,2006 i 2008; Harman i sur.,1990; Feltner i sur.,2004), te njihovu povezanost i udjelom u postotcima s visinom odraza (Luhtanen i Komi,1979).

***Tablica 2.5.*** *Srednje**vrijednosti varijabli dobivene u dosadašnjim istraživanjima.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Skok iz polučučnja sa zamahom ruku | | Skok iz polučučnja bez zamaha ruku | |
| **AUTORI/ varijable** | **visina skoka (cm)** | **sila po Fz (N)** | **visina skoka (cm)** | **sila po Fz (N)** |
| Harman i sur., 1990 | \* | 1725,00 (±218) | \* | 1697,00 (±308) |
| Feltner i sur., 2004 | \* | 1654,60 | \* | 1644,90 |
| Lees i sur., 2004 | 53,52 (±0,043) | \* | 44,60 (±0,037) | \* |
| Vanezis i sur., 2005 | 57,90 (±0,021) | \* | 48,70 (±0,039) | \* |
| Hara i sur., 2006 | 58,00 | 1730,00 | 49,30 | 1590,00 |
| Riggs i sur., 2009 | 46,86 (±3,81) | 2157,29 (±218) | \* | \* |

*legenda: „\*“ varijabla nije mjerena u tom istraživanju*

Kao što je vidljivo iz provedenih istraživanja niti u jednom navedenom nije se pokušala utvrditi kolika je uloga ruku u izvođenju vertikalnog skoka, odnosno koliko i na koji način su ruke povezane sa rasterećenjem tijela prilikom izvođenja vertikalnog skoka. Kako bi utvrdili upravo ovu nepoznanicu, u ovom istraživanju osmišljen je novi mjerni instrument, posebno dizajnirana i izrađena sjedalica. Sjedalica je ispitanicima onemogućila izvođenje bilo kakvog pokreta u zglobnim segmentima nogu, kuka, trupa i glave, ali im je omogućeno izvođenje samo zamaha ruku. Upravo zbog specifične konstrukcije sjedalice i načina na koji su ispitanici učvršćeni za sjedalicu, ispitanici su mogli izvoditi samo izolirani pokret zamaha ruku iz početnog zaručenja do krajnjeg položaja ruku.

**3. PROBLEM**

Vrednovanje kinezioloških aktivnosti nedvojbeno zahtijeva poznavanje energetske potrošnje, njene izmjene i prijenos unutar sistema u cjelini. Iz istih ili sličnih zahtjeva, prijeko su potrebne informacije o kinetičkim karakteristikama kao što su sile reakcije u zglobovima, ukupni mišićni momenti, momenti impulsa, itd. (*Mejovšek, 1989*). Pored kinetičkih karakteristika potrebita su i određena saznanja o kinematičkim parametrima kojima možemo opisati gibanje.

Prema tome, ako želimo opisati bilo koju kineziološku aktivnost, istraživanja u biomehanici moraju dati odgovore na velik broj pitanja koja opisuju proučavana gibanja. U ovom istraživanju postavljeno je pitanje uloge ruku u izvedbi zamaha i značaj takvog gibanja na samu izvedbu ciljane kineziološke aktivnosti.

Kako je već naznačeno u uvodu, velik broj autora istraživao je različite mogućnosti povezanosti zamaha ruku i rasterećenja podloge pri izvođenju pokreta. Zašto je rješavanje tog pitanja bitno u kineziološkim aktivnostima u kojima uspjeh jednim dijelom ovisi i o kvaliteti izvedbe zamaha ruku? Upravo zbog činjenice da odgovarajuća izvedba zamaha ruku može doprinijeti kvalitetnijoj izvedbi svih onih kinezioloških aktivnosti u kojima zamah ruku ima važnu ulogu na uspješno izvođenje motoričkog zadatka u cijelosti.

Poznavanje mehanizma zamaha ruku, kinetičkih i kinematičkih parametara koji određuju uspješnost zamaha, nužno je za proces učenja i usavršavanja sportskih tehnika. Time se omogućuje bolji uvid u problematiku zamaha, a trenerima sportskih grana u kojima su zamasi sastavni dio tehnike pružaju informacije koje će im omogućiti kvalitetnije oblikovanje trenažnog procesa.

Iz proučene literature o provedenim istraživanjima različitih autora u području ispitivanja zamaha ruku u različitim kineziološkim aktivnostima, osim jednoga istraživanja (*Carr i Gentile, 1994*), ne pronalaze se ispitivanje zamaha ruku u izoliranim uvjetima.

Sukladno provedenim istraživanjima mnogih autora u ovom području, postavljaju se slijedeći problemi. Opći problem ovog istraživanja je odgovor na pitanje mogu li ispitane kinematičke varijable objasniti veličinu promjene sila izmjerene kroz rasterećenje sile reakcije podloge uslijed izoliranog suručnog zamaha rukama. Također će se za sve izmjerene kinetičke i kinematičke parametre provjeriti povezanost kroz mjere kovariranja, a prema kriteriju rasterećenja sile reakcije podloge uslijed izvedenog izoliranog zamaha ruku.

**4. CILJ I HIPOTEZE**

Temeljni cilj provođenja ovog istraživanja je vrednovanje zamaha ruku u rasterećenju tijela mjereći sile reakcije podloge pri različitim načinima izvođenja suručnog zamaha ruku u izoliranim uvjetima. Različitost izvođenja zamaha rukama pojedinih ispitanika ovisi o vrsti kineziološke aktivnosti kojima se ispitanici bave, atletika, odbojka ili sportska gimnastika.

Također, pomoću podataka prikupljenih ovim istraživanjem moći će se bolje odrediti maksimalna vertikalna sila pri izvedenim suručnim zamasima ruku. Navedeni cilj istraživanja planira se ostvariti kroz odgovor na slijedeće specifične probleme:

1. *Ispitati svaki pojedini zamah ruku kroz:*
   1. mjerenje vrijednosti rasterećenja podloge suručnim zamahom ruku izvedenim u izoliranim uvjetima (N),
   2. određivanje povezanosti mase ruku s izmjerenim vrijednostima razlike rasterećenja podloge u mirovanju i nakon izvedenog suručnog zamaha ruku u izoliranim uvjetima (N),
   3. određivanje maksimalne brzine zamaha ruku na zapešću (m**.**s-1),
   4. određivanje puta deceleracije zamaha ruku u području zapešća (cm),
   5. određivanje kuta u zglobu lakta u trenutku maksimalne brzine zamaha ruku (o),
   6. vrijeme trajanja zamaha ruku (s),
   7. vrijeme trajanja akceleracije (s),
   8. vrijeme trajanja deceleracije (s),
   9. vertikalni položaj zapešća u odnosu na rame u trenutku maksimalne brzine zamaha (+,-,0), gledano u sagitalnoj ravnini,
   10. visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha ruku, u odnosu na referentnu točku ramenog zgloba gledano u sagitalnoj ravnini (cm),
   11. razliku u visini skoka između vertikalnog skoka s mjesta sa i bez zamaha ruku (cm).

Za sve navedene parametre provjeriti će se povezanost kroz mjere kovariranja.

1. *Ispitati višestrukom regresijskom analizom povezanost navedenih parametara s rezultatima rasterećenja podloge nakon izvedenog zamaha ruku u izoliranim uvjetima.*
2. *Analizom varijance usporediti razlikuju li se sportaši s obzirom na pojedini sport (atletika, odbojka, sportska gimnastika) prema kriteriju rasterećenja podloge nakon izvedenog zamaha ruku u izoliranim uvjetima.*

Za ostvarivanje postavljenog cilja te uočenih problema, definirane su i slijedeće alternativne hipoteze:

***H1***) odabrane kinematičke varijable mogu objasniti većinu varijance rasterećenja podloge;

***H2***) masa ruku i njeni segmenti značajno su povezani s rasterećenjem podloge;

***H3***) kut u zglobu lakta značajno je povezan s rasterećenjem podloge;

***H4***) kraći put deceleracije ruku značajno je povezan s rasterećenjem podloge;

***H5***) ispitanici koji su ostvarili veće rasterećenje na podlogu zamahom ruku u izoliranim uvjetima, ujedno imaju i veću razliku između vertikalnog skoka sa i bez zamaha ruku.

**5. MATERIJALI I METODE**

**5.1. Uzorak ispitanika**

Uzorak ispitanika čini 31 mlada i zdrava muška osoba (Tablica 5.1.) s iskustvom treniranja u sportovima u kojima je kvalitetna izvedba zamaha ruku od velikog značaja za uspješno izvođenje elemenata, ili aktivnosti u cjelini. Ispitanici su odabrani namjernim uzorkom iz slijedećih sportova: 10 ispitanika iz atletike, prosječne starosti 24,40 (±5,14), 11 ispitanika iz odbojke, prosječne starosti 22,81 (±3,18), te 10 ispitanika iz sportske gimnastike prosječne starosti 22,10 (±4,77). Od 31 ispitanika, 25 ispitanika su sadašnji aktivni natjecatelji saveznog ranga i kategorizirani sportaši Hrvatskog Olimpijskog Odbora, a 6 ispitanika su prestali sa svojom aktivnom natjecateljskom aktivnošću, ali su također bili kategorizirani sportaši u vrijeme aktivnog bavljenja sportskom aktivnošću. Ispitanici iz atletike u prosjeku su aktivni u sportskoj grani 7,92 (±4,99), godine, ispitanici u odbojci 9,68 (±4,07), a u sportskoj gimnastici prosječno trajanje bavljenja aktivnošću iznosila je 11,92 (±4,25) godine. Prosječna dob svih ispitanika je 23,09 (±4,36), a prosjek godina aktivnog bavljenja sportskom aktivnošću je 9,83 (±4,59).

***Tablica 5.1.*** *Osnovni deskriptivni parametri u varijablama za procjenu morfoloških obilježja ispitanika (n=31)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | M | SD | min | max |
| Visina ispitanika (cm) | 184,12 | 9,84 | 168,00 | 205,20 |
| Masa ispitanika (kg) | 80,47 | 10,07 | 57,10 | 105,40 |
| Masa ruku (kg) | 9,49 | 0,76 | 7,75 | 11,48 |
| Masa šaka (kg) | 1,11 | 0,12 | 0,89 | 1,45 |
| Masa podlaktica (kg) | 2,40 | 0,32 | 1,71 | 3,26 |
| Masa nadlaktica (kg) | 5,80 | 0,77 | 2,47 | 6,91 |
| Dužina ruke (cm) | 77,19 | 4,77 | 67,80 | 87,40 |

*legenda: aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD), minimalan iznos varijable (min); maksimalan iznos varijable (max)*

S obzirom na različitost izvođenja zamaha ruku u svakom od pojedinih odabranih sportova, ispitanici su i različitih morfoloških karakteristika, te su za tu potrebu formirane i tri skupine, čije su karakteristike opisane u tablici 5.2.

***Tablica 5.2.*** *Osnovni podaci, deskriptivni parametri u varijablama za procjenu morfoloških obilježja ispitanika po sportovima (n=31)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | M | SD | min | max |
| **ATLETIKA** | | | | |
| Visina ispitanika (cm) | 182,94 | 8,21 | 169,80 | 200,00 |
| Masa ispitanika (kg) | 81,24 | 8,59 | 65,50 | 94,10 |
| Masa ruku (kg) | 9,10 | 0,72 | 7,75 | 10,25 |
| Masa šaka (kg) | 1,04 | 0,90 | 0,89 | 1,18 |
| Masa podlaktica (kg) | 2,33 | 0,28 | 1,77 | 2,87 |
| Masa nadlaktica (kg) | 5,72 | 0,47 | 5,08 | 6,51 |
| Dužina ruke (cm) | 74,20 | 4,09 | 67,80 | 80,00 |
| **ODBOJKA** | | | | |
| Visina ispitanika (cm) | 192,00 | 7,55 | 179,90 | 205,20 |
| Masa ispitanika (kg) | 86,57 | 9,28 | 74,20 | 105,40 |
| Masa ruku (kg) | 9,80 | 0,81 | 9,04 | 11,48 |
| Masa šaka (kg) | 1,19 | 0,14 | 1,00 | 1,48 |
| Masa podlaktica (kg) | 2,55 | 0,35 | 2,14 | 3,26 |
| Masa nadlaktica (kg) | 6,05 | 0,42 | 5,56 | 6,91 |
| Dužina ruke (cm) | 81,29 | 3,56 | 75,10 | 87,40 |
| **SPORTSKA GIMNASTIKA** | | | | |
| Visina ispitanika (cm) | 176,66 | 7,26 | 168,00 | 189,00 |
| Masa ispitanika (kg) | 72,99 | 7,75 | 57,10 | 81,50 |
| Masa ruku (kg) | 9,53 | 0,61 | 8,76 | 10,52 |
| Masa šaka (kg) | 1,09 | 0,91 | 0,93 | 1,19 |
| Masa podlaktica (kg) | 2,32 | 0,30 | 1,71 | 2,71 |
| Masa nadlaktica (kg) | 5,59 | 1,21 | 2,47 | 6,78 |
| Dužina ruke (cm) | 75,45 | 3,55 | 69,50 | 81,00 |

*legenda: aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD), minimalan iznos varijable (min); maksimalan iznos varijable (max)*

**5.2. Uzorak varijabli**

Ispitanici su upoznati s protokolom mjerenja, koji se sastojao od 4 segmenta:

* mjerenja osnovnih morfoloških obilježja,
* izvođenja vertikalnog skoka sa zamahom ruku,
* izvođenja vertikalnog skoka bez zamaha ruku,
* mjerenje rasterećenja podloge suručnim zamahom ruku u izoliranim uvjetima.

Morfološka mjerenja obuhvatila su ukupno 18 morfoloških mjera, od toga osnovnih 7 mjera, te 11 izvedenih mjera. Vertikalni skokovi iz počučnja s pripremom sa i bez zamaha ruku, kao i protokol mjerenja izoliranog zamaha ruku, ispitanici su izvodili na platformi za mjerenje sile reakcije podloge proizvođača „Kistller“, Quattro Jump. Mjerenja na platformi obuhvaćala su vrijednosti vertikalne sile reakcije podloge (*Fz*) za vrijeme izvođenja zadatka.

**5.2.1.** *Morfološka obilježja*

Mjerenje morfoloških obilježja ispitanika obavljeno je u skladu s naputcima Međunarodnog Biološkog Programa (IBP, Weiner i Lourie, 1969; Mišigoj-Duraković, M., 2008). Od morfoloških mjera u istraživanju su korištene slijedeće osnovne mjere:

* visina tijela (ALVT),
* masa tijela (AVMT),
* dužina ruke (ALDR),
* masa ruku (AVMR),
* masa šaka (AVMŠ),
* masa podlaktica (AVMP),
* masa nadlaktica (AVMN).

Prema Mejovšeku (1989) za potrebe izračuna mase ruku potrebna su još i izvedena morfološka obilježja da bi se prema Regresijskom modelu II izračunale mase segmenata obiju ruku: šaka, podlaktica i nadlaktica.

Korištene su:

* duljina šake (ALDŠ)
* opseg šake (ALOŠ)
* širina šake (ALŠŠ)
* duljina podlaktice (ALDP),
* opseg podlaktice, distalni (ALOPd),
* opseg podlaktice, srednji (ALOPs),
* opseg podlaktice, najveći (ALOPmaks),
* „biomehanička“ duljina nadlaktice, (ALDNbio),
* opseg nadlaktice, najveći (ALONmaks),
* širina ručnog zgloba (ALŠZ),
* širina lakta (ALŠL).

**5.2.2.** *Kinematičke i kinetičke varijable*

Uzorak varijabli za procjenu *kinematičkih veličina* čine:

* maksimalna brzina zamaha ruku (m.s-1),
* put deceleracije ruku mjereno na sredini lijevog zgloba zapešća (cm),
* kut u zglobu lakta (°),
* vrijeme trajanja zamaha ruku (s),
* vrijeme trajanja akceleracije (s),
* vrijeme trajanja deceleracije (s),
* vertikalan položaj zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na rame (+,-,0),
* visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha (cm),
* srednja vrijednost razlike u visini skoka između vertikalnog skoka sa i bez zamaha rukama (cm), prema „*Bosco*“ protokolu mjerenja.

Uzorak varijabli za procjenu *kinetičkih veličina* čini:

* vrijednost rasterećenja podloge suručnim zamahom ruku u izoliranim uvjetima (N).

**5.3. Mjerna oprema**

U ovom istraživanju korištena je sljedeća mjerna oprema:

* antropometrijski set (Larussport, Hrvatska),
* osobna vaga, digitalna, „Silver Sense“ (Soehnle, Austrija),
* platforma za mjerenje sila reakcije podloge „Quattro Jump, model 9290AD (Kistler, Švicarska) (Slika 5.1.),
* posebno konstruirana sjedalica (Slika 5.2.),
* digitalna kamera „EPIC 14MEGAPIXEL MYSTERIUM-XTM“ (RED, 34 Parker, Irving CA 96218, USA) (Slika 5.3.).

Kistler „Quattro Jump“ model 9290AD je prijenosna platforma za mjerenje vertikalnih sila reakcije podloge (FZ) u rasponu od 0 do 10 kN, koja se pomoću serijskog priključka RS-232C, priključuje na računalo te se pomoću programa *„Kistler measure, analyze, innovate“* i aplikacijskog programa Quatro Jump tip 2822A1-1, verzija 1.0.9.2, omogućuje obrada podataka.

Dimenzije platforme su 92,0x92,0x12,5 cm, a masa platforme je 21,6 kg. Specijalni protokol koji omogućava kvantifikaciju izvedbe vezane uz aktivnost donjih ekstremiteta, "Quattro Jump Bosco Protokol", omogućava objektivno mjerenje sile i vremena te izračunavanje za ovo istraživanje potrebnih veličina, visine skoka i vrijednosti rasterećenja podloge suručnim zamahom ruku u izoliranim uvjetima.

*[](http://www.kistler.com/medias/sys_master/celum_assets/8820086472734_931-842_web_3965_png.jpg?1)*

Fz

*Slika 5.1. Kistler „Quattro Jump“ platforma.*

Posebno konstruirana sjedalica (Slika 5.2.), izrađena je na osnovu procjene parametara longitudinalnosti skeleta ispitanika. Na osnovu toga izrađene su duže noge sjedalice, sjedna površina, kao i sam naslon sjedalice (visina sjedne ploče: 68,0 cm; visina naslona: 99,0 cm; širina naslona: 25,5 cm), cijela konstrukcija je dodatno učvršćena poprečnim metalnim kutnim i valjkastim elementima.

Sjedalica je postavljena na postolje koje su činile dvije kutne metalne letve, dužine 85,0 cm koje su postavljene na šest metalnih pločica dimenzija 12,0x8,0x0,25 cm.



*Slika 5.2. Posebno konstruirana sjedalica.*

Zbog specifičnosti sjedalice i načina na koji su ispitanici učvršćeni za sjedalicu, svojom je konstrukcijom omogućavala izvođenje samo izoliranog pokreta zamaha ruku iz početnog položaja, zaručenje, kroz priručenje do uzručenja naprijed ili samog uzručenja kao krajnjeg položaja ruku. Izvođenje ovako izoliranog zamaha ruku bilo je moguće upravo zbog toga što su se pojedini segmenti tijela privezivali za sjedalicu pomoću posebnih mekanih pojaseva. Konkretno su za sjedalicu bili privezani slijedeći segmenti tijela: potkoljenice, natkoljenice, trup u predjelu struka i predjelu ramena, te glava (Slika 5.2.a).

Na taj način se ispitaniku onemogućilo izvođenje bilo kakvog pokreta u zglobnim segmentima nogu i kuka, ali mu je bilo omogućeno izvođenje izoliranog pokreta zamaha u kojima sudjeluju samo ruke.

**

*Slika 5.2.a. Položaj ispitanika u sjedalici.*

Digitalna kamera tvrtke RED, model „EPIC“ 14MEGAPIXEL MYSTERIUM-XTM“(Slika 5.3.), korištena je za potrebe ovog istraživanja. Kamera je bila postavljena bočno u odnosu na sjedalicu i referentni okvir, na udaljenosti od 620 cm od ruba platforme za mjerenje sile reakcije podloge i na visini stativa od 125 cm. Frekvencija snimanja namještena je na 300 slika u sekundi uz brzinu zatvarača 1/200 s.



*Slika 5.3. Digitalna kamera RED „EPIC“.*

**5.4. Protokol mjerenja**

Cijelo istraživanje provedeno je na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, tijekom jednog dana, u prostoru primjerene temperature, vlažnosti zraka kao i količine svjetla potrebne za provođenje testiranja. Postupak standardiziranog prikupljanja morfoloških obilježja (Mišigoj-Duraković, 2008), proveden je na početku testiranja (Slika 5.4.), da bi se potom ispitanicima, od strane asistenta mjerenja, prikazao i objasnio prvi zadatak.



*Slika 5.4. Mjerenje morfoloških obilježja ispitanika.*

Za utvrđivanje visine skoka, provodio se standardizirani test izvođenja vertikalnog skoka i to prema postojećem “**Bosco Ergojump System”,** protokolu. Test, koji je za potrebe ovog istraživanja označen kao SKOK, izvodio se u dvije varijante. U prvoj varijanti izvedbe ispitanici su izvodili vertikalni skok iz počučnja s pripremom sa zamahom rukama (SKOKsz), a u drugoj varijanti izvedbe vertikalni skok iz počučnja s pripremom ali bez zamaha rukama (SKOKbz). Obje varijante izvedbe testa ispitanici su izvodili tako da su stali na „Kistler“ platformu za mjerenje sila reakcije podloge, te su izvodili maksimalan vertikalan skok iz počučnja s pripremom tijela. Priprema tijela obuhvaćala je spuštanje tijela u počučanj, pogrčenim zglobova koljena od oko 900 i pretklona trupa, te su iz tog položaja izvodili maksimalan vertikalan skok.

U prvom dijelu *„Bosco“* protokola mjerenja, vertikalni skok se izvodio bez zamaha ruku koje su bile u poziciji ruku o bok (Slika 5.5.a.), a u drugom dijelu „Bosco“ protokola mjerenja, vertikalni skok izvodio se s zamahom ruku (Slika 5.5.b.).

početna pozicija pripremna faza aktivna faza završna pozicija

*Slika 5.5.a. Izvedba* „*Bosco“ protokola mjerenja bez zamaha ruku.*

*   *

početna pozicija pripremna faza aktivna faza završna pozicija

*Slika 5.5.b. Izvedba* „*Bosco“ protokola mjerenja sa zamahom ruku.*

Zadatak je prethodno objašnjen i demonstriran od strane asistenta mjerenja. Svaki je ispitanik imao mogućnost jednog probnog pokušaja izvođenja oba testa, a nakon toga, izveo je tri skoka bez zamaha ruku (SKOKbz), te tri skoka sa zamahom ruku (SKOKsz). Bilježene su visine odraza u centimetrima svih šest skokova ostvarenih na platformi za mjerenje sile reakcije podloge, a u izračun je uvršten prosjek tri ostvarena skoka iz svake pojedine varijante izvedbe testa. Izračunata je razlika (hdiffSKOK) u ostvarenim prosječnim visinama odraza u centimetrima ostvarenih skokovima iz počučnja bez i sa zamahom ruku.

Drugi se zadatak (Slika 5.6.) sastojao od izvedbe izoliranog maksimalnog suručnog zamaha rukama na posebno konstruiranoj sjedalici.

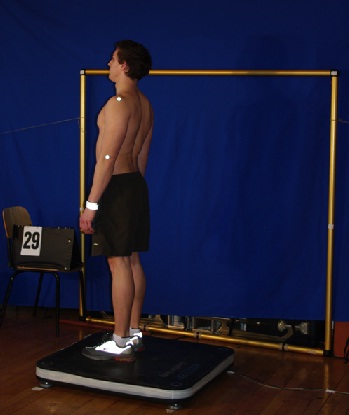


Početna pozicija ruku Završna pozicija ruku

*Slika 5.6. Izvedba suručnog zamaha rukama.*

Radi preciznije kinematičke analize, na lijevu stranu tijela postavljeni su po dva reflektirajuća markera, i to na zglob ramena i zglob lakta po jedan samoljepljivi svjetleći marker standardnih dimenzija, te reflektirajuća samostojeća stezajuća traka dimenzija 40x3 cm na zapešće

Iza platforme za mjerenje sile reakcije podloge na udaljenosti od 50 cm postavljen je 2D referentni okvir dimenzija 180x100 cm (Slika 5.7).



*Slika 5.7. Postavljeni 2D referentni okvir.*

Nakon prikaza i objašnjenja zadatka od strane asistenta mjerenja, ispitanik je sjeo u sjedalicu, pričvršćeni su mu pojedini segmenti tijela (potkoljenice, natkoljenice, trup i glava, Slika 5.2.a), te je imao dva probna pokušaja izvođenja suručnog zamaha.

*Opis zadatka*. U sjedećem položaju zadatak ispitanika bio je izvesti tri maksimalno intenzivna zamaha ruku (Slika 5.6.), koja su bila identična onima koje koriste pri intenzivnim sunožnim skokovima (odrazima), pri izvođenju pojedine kineziološke aktivnosti kojom se ispitanici bave, atletike, odbojke ili sportske gimnastike. Ispitanici ne dobivaju uputu ili ograničenja u amplitudi odnosno položaju ruku, već je on određen njihovim prethodnim trenažnim i natjecateljskim iskustvom.

**5.5. Metode analize i obrade podataka**

Za potrebe ovog mjerenja analiza podataka provodila se u dva smjera:

* analiza kinematičkih parametara izoliranog zamaha rukama,
* analiza kinetičkih parametara izoliranog zamaha rukama.

*Analiza kinematičkih parametara* video zapisa provedena je pomoću programa SkillSpector 1.2.4., proizvođača Video4coach, 2009. Program služi za kvantifikaciju 2D referentnih točaka označenih segmenata tijela snimljenih video kamerom. Video zapisi pohranjeni su u računalo u ***.avi*** obliku a u analizu su odabrani oni dijelovi zapisa na kojima se izvode pojedini zamasi ruku. Program također omogućuje da se kombinacijom kinematičkih podataka koji su izračunati iz snimljenog video materijala, prikažu kompletne analize pokreta u realnom vremenu. Za potrebe ovog mjerenja koristio se dio dvodimenzionalnog 6-segmentalnog povezanog modela (Ashby, 2002), a na svakoj slici digitaliziran je model ruke koju označavaju rame, lakat i zapešće.

*Analiza kinetičkih parametara* provedena je pomoću podataka dobivenih mjerenjem na platformi za mjerenje sila reakcije podloge „Quattro Jump, model 9290AD (Kistler, Švicarska), te se pomoću aplikacijskog programa Quatro Jump tip 2822A1-1, verzija 1.0.9.2, omogućuje obrada podataka.

**5.5.1.** **Prikaz varijabli korištenih za potrebe istraživanja**

U tablici 5.3. prikazane su sve varijable koje su bile korištene i računate u ovom istraživanju, korištene oznake svake pojedine varijable, kao i mjerne jedinice u kojima su se izražavale varijable. Radi lakšeg praćenja izmjerenih rezultata, kao i procesa mjerenja, definirano je da mjereni sustav čine ispitanik, sjedalica i dodatno opterećenje.

**Tablica 5.3.** *Prikaz svih varijabli korištenih u istraživanju s mjernim jedinicama i korištenim oznakama*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Oznaka* | *Naziv varijable* | *Mjerna jedinica* |
| ALVT | visina tijela | (cm) |
| AVMT | masa tijela | (kg) |
| ALDR | dužina ruke | (cm) |
| AVMR | masa ruku | (kg) |
| AVMŠ | masa šaka | (kg) |
| AVMP | masa podlaktica | (kg) |
| AVMN | masa nadlaktica | (kg) |
| ALDŠ | duljina šake | (cm) |
| ALOŠ | opseg šake | (cm) |
| ALŠŠ | širina šake | (cm) |
| ALDP | duljina podlaktice | (cm) |
| ALOPd | opseg podlaktice, distalni | (cm) |
| ALOPs | opseg podlaktice, srednji | (cm) |
| ALOPmaks | opseg podlaktice, najveći | (cm) |
| ALDNbio | „biomehanička“ duljina nadlaktice | (cm) |
| ALONmaks | opseg nadlaktice, najveći | (cm) |
| ALŠZ | širina ručnog zgloba | (cm) |
| ALŠL | širina lakta | (cm) |
| ALUkOŠ | opseg šake, kombinirani | (cm) |
| ALUkOP | opseg podlaktice, kombinirani | (cm) |
| ALUkŠN | širina nadlaktice, kombinirana | (cm) |
| VmaksZ | maksimalna brzina zamaha ruku | (m**.**s-1) |
| PD | put deceleracije u zamahu | (cm) |
| Ldeg | kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini | (°) |
| vtrZ | vrijeme trajanja zamaha ruku | (s) |

**Tablica 5.3.** *Prikaz svih varijabli korištenih u istraživanju s mjernim jedinicama i korištenim oznakama (nastavak).*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Oznaka* | *Naziv varijable* | *Mjerna jedinica* |
| AvtrZ | vrijeme trajanja akceleracije | (s) |
| DvtrZ | vrijeme trajanja deceleracije | (s) |
| SKOKsz | vertikalan skok sa zamahom ruku | (cm) |
| SKOKbz | vertikalan skok bez zamaha ruku | (cm) |
| hdiffSKOK | razlika u visini vertikalnog skoka sa i bez zamaha ruku | (cm) |
| pzmV | vertikalni položaj zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj ravnini | (+,-,0) |
| hzmV | visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj ravnini | (cm) |
| RPZ | razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku | (N) |

**5.5.2. Obrada podataka**

Nakon obavljenih mjerenja pristupilo se unosu, obradi i statističkoj analizi rezultata koja je izvršena korištenjem statističkog programa SPSS15.0, a za neke dodatne grafičke prikaze i izračune korišten je *Microsoft Office Excel 2007* program.

Vrijednost kinematičkih i kinetičkih varijabli prikupljenih u ovom istraživanju obrađene su *deskriptivnom analizom* pomoću koje su izračunati slijedeći parametri:

* aritmetička sredina (M),
* standardna devijacija (SD),
* minimalna vrijednost (min),
* maksimalna vrijednost (max),

Normalnost distribucije varijabli izračunata je *Kolmogorov-Smirnovljevim testom* na razini pogreške zaključivanja p=0,05.

*Korelacijska analiza* korištena je pri utvrđivanju međusobne povezanosti odabranih varijabli prikupljenih u ovom istraživanju, a analizom ispitana povezanost između razine rasterećenja podloge i skupine odabranih prediktorskih varijabli.

*Višestrukom regresijskom analizom* provjereno je kojim se nezavisnim varijablama (NV) može najbolje predvidjeti iznos zavisne varijable (ZV), konkretno vertikalne komponente sile reakcije podloge, odnosno koliki postotak varijabiliteta unutar ZV objašnjavaju odabrane NV. U okviru višestruke regresijske analize izračunati su slijedeći parametri:

* multipla korelacija (R), koeficijent determinacije (R2),
* F-vrijednost kojom se testira statistička značajnost multiple korelacije (F),
* standardna pogreška prognoze (SEE),
* razina pogreške, odnosno, vjerojatnost hipoteze o nultoj vrijednosti multiple korelacije,
* standardizirani regresijski koeficijenti (β),
* korelacije zavisne varijable s nezavisnim (r),
* t-vrijednost kojom se testira važnost regresijskih koeficijenata (t),
* razina pogreške, odnosno, vjerojatnost hipoteze o nultoj vrijednosti regresijskih koeficijenata (p).

**6. REZULTATI I RASPRAVA**

U ovom istraživanju primijenjen je novo konstruirani mjerni protokol kao i novo konstruirani mjerni instrument, stoga je prije odgovaranja na postavljena pitanja, provjerena *pouzdanost* kao jedna od temeljnih metrijskih osobina testa (*Dizdar, 2006*). Kao *mjera pouzdanosti* testa izračunat je koeficijent korelacije (Crombachov α), koji se temelji na unutarnjoj konzistenciji mjerenog instrumenta, odnosno na prosječnoj korelaciji među česticama mjernog instrumenta (*Kolesarić, Petz,1999*). Rezultat koeficijenta korelacije rezultata mjerenja kriterijske varijable, razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku (**RPZ**), kao mjere pouzdanosti testa, Crombachov α iznosi 0,87, te prema Kolesariću i Petzu,1999, kada koeficijent korelacije (α) iznosi preko 0,7, tada označava visoku pouzdanost testa. Prema tome može se zaključiti da u ovom mjerenju kriterijska varijabla ima visoku pouzdanost.

**6.1. Deskriptivna analiza varijabli**

Kako bi se pomoću postavljenih ciljeva istraživanja mjerenjem mogao dati odgovor na temeljni problem istraživanja kojim se htjelo ispitati povezanost kinematičkih parametara zamaha ruku s rasterećenjem podloge, izračunati su deskriptivni parametri mjerenih varijabli (Tablica 6.1.). U Tablici 6.1. prikazani su rezultati provjere normalitet distribucije, odnosno vrijednost Kolmogorov-Smirnovljev testa (K-S test), kako bi se utvrdilo koje su varijable pogodne za daljnju statističku obradu. Analizom deskriptivnih pokazatelja i vrijednostima K-S testa, utvrđen je normalitet distribucije rezultata kod većine varijabli uz razinu pogreške p=0,05.

Utvrđeno je da se slijedeće varijable značajno razlikuju od normalne distribucije: maksimalna brzina zamaha ruku (**VmaksZ**); put deceleracije u zamahu (**PD**); razlika u visini vertikalnog skoka iz počučnja s pripremom sa i bez zamaha rukama (**hdiffSKOK**); masa nadlaktice (**AVMN**) i skok iz počučnja bez zamaha rukama (**SKOKbz**).

***Tablica 6.1.*** *Osnovni deskriptivni parametri nezavisnih i zavisne varijable (ZV), kao i rezultati K-S testa (N=93)*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | M | SD | min | max | max D |
| VmaksZ (m**.**s-1) | 11,00 | ±0,93 | 8,49 | 12,86 | 0,55 |
| PD (cm) | 71,22 | ±23,11 | 29,00 | 129,00 | 0,66 |
| Ldeg (°) | 120,17 | ±17,38 | 83,80 | 168,13 | 0,05 |
| vtrZ (s) | 0,32 | ±0,04 | 0,25 | 0,42 | 0,10 |
| AvtrZ (s) | 0,20 | ±0,04 | 0,13 | 0,30 | 0,06 |
| DvtrZ (s) | 0,12 | ±0,03 | 0,05 | 0,20 | 0,09 |
| hdiffSKOK (cm) | 9,68 | ±5,85 | -8.30 | 19,70 | 0,20 |
| AVMR (kg) | 9,49 | ±0,75 | 7,75 | 11,49 | 0,09 |
| AVMŠ (kg) | 1,11 | ±0,13 | 0,89 | 1,46 | 0,13 |
| AVMP (kg) | 2,41 | ±0,32 | 1,72 | 3,26 | 0,10 |
| AVMN (kg) | 5,80 | ±0,77 | 2,47 | 6,91 | 0,20 |
| hzmV (cm) | -18,91 | ±0,23 | -66,00 | 29,0 | 0,08 |
| SKOKsz (cm) | 60,98 | ±7,38 | 41,90 | 85,10 | 0,12 |
| SKOKbz (cm) | 51,30 | ±7,56 | 35,10 | 81,30 | 0,18 |
| RPZ (N) (ZV) | 2987,95 | ±1033,91 | 973,00 | 5193,27 | 0,06 |

*Tablična vrijednost K-S TEST 0,05=****0,139***

*legenda: aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD), minimalan iznos varijable (min); maksimalan iznos varijable (max), maksimalno odstupanje empirijske i relativne kumulativne funkcije (max D)*

U jednom od istraživanja (*Shan i sur, 2000*), autori su pored ostalih varijabli mjerili i postignutu maksimalnu brzinu zamaha ruku, a čija je srednja vrijednost iznosila 12,80 m**.**s-1 (±1,30). Iako u tom radu nije objašnjeno koji se dio ruke uzimao kao referentna točka kod mjerenja brzine zamaha, može se zaključiti da se mjerenje provelo na zapešću ruke. U ovom istraživanju dobivena je nešto manja prosječna m*aksimalna brzina zamaha ruku* (**VmaksZ**), mjereno na sredini zapešća lijeve ruke, a iznosila 11,00 m**.**s-1 (±0,93), što se može obrazložiti mjernim postupkom jer je pokret izvođenja zamaha ruku u cijelosti izoliran, te je dopušteno izvođenje zamaha isključivo i samo rukama. Najmanja izmjerena maksimalna brzina zamaha ruke iznosi 8,49 m**.**s-1, dok najvećabrzina zamaha iznosi 12,86 m**.**s-1.

Prosječna vrijednost *puta deceleracije izvedenog zamaha* (**PD**), iznosi 71,22 cm (±23,11), uz minimalnu vrijednost od 29 do maksimalnih 129 centimetara. *Kut u zglobu lakta* (**Ldeg**), svojom je prosječnom vrijednosti od 120,67° (±17,38), sličan vrijednostima dobivenih u dosadašnjim istraživanjima (*Payne i sur. ,1968; Bobbert i van Ingen Schenau, 1988; Zajac i Gordon, 1989*), s izmjerenom minimalnom vrijednošću od 85,13°, do maksimalnog iznosa od 168,13°. Prema nekim istraživanjima (*Galloway i Koshland, 2001; Hirashima i sur., 2008; Debicki i sur., 2010*), istaknuto je da se ubrzanje zgloba lakta i zapešća primarno generira u zglobu ramena kombinacijom mišićnih kontrakcija i interakcijskih sila te da se najveća ubrzanja zapešća postižu kada je kut u zglobu lakta između 120° i 150°, što je potvrđeno i u ovom istraživanju. *Vrijeme trajanja zamaha* (**vtrZ**), svojim izmjerenim vrijednostima u ovom mjerenju, mijenja se od minimalnih 0,25 s, do maksimalnih 0,42 s, s prosječnom vrijednošću od 0,32 s (±0,04).

Prosječna vrijednost *trajanja akceleracije zamaha* (**AvtrZ**) iznosila je 0,20s (±0,04), dok je prosječna vrijednost *trajanja deceleracije zamaha* (**DvtrZ**) iznosila 0,11s (±0,03). U ovom istraživanju taj podatak ukazuje na to da su ispitanici u većini slučajeva duže vrijeme kontrahirali mišićne skupine ruku i ramenog pojasa te na taj način stvarali veće sile koje su djelovale na povećanje akceleracije segmenata ruku. Također su ispitanici antagonističkim skupinama mišića stvarali silu koja je u što mogućem kraćem vremenu isti taj segment ruke usporavali do mirovanja.

Varijabla *vertikalna visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj ravnini* (**hzmV**), korištena je u sličnom obliku samo u jednom od navedenih istraživanja (*Hara i suradnici 2008*). U ovom istraživanju varijabla je korištena kako bi se izmjerilo u kojoj su se točno vertikalnoj poziciji nalazila zapešća kada se ostvarivala najveća ostvarena brzina zamaha rukama. Uvođenjem ove varijable dobiven je podatak koji nam ukazuje na različitost izvođenja zamaha pojedinih ispitanika te na koji je način ostvarena vertikalna pozicija povezana sa zavisnom varijablom.

Prosječna vrijednost varijable iznosila je 18,91 cm (±0,23), ispod referentne točke ramena u trenutku maksimalne brzine zamaha, a najveća visina položaja referentne točke zapešća iznad referentne točke ramena iznosila je 66,0 cm.

Izražavajući u postocima rezultate izvedenih zamaha ruku, iz dobivenih rezultata vidljivo je da su u 75,27% izvedenih zamaha, ostvarena maksimalna brzina kao i početak deceleracije zamaha događali u trenutku kada su se zapešća nalazila ispod razine referentne točke ramena u sagitalnoj ravnini (pozicija 1), 2,15% izvedeno je kada je zapešće bilo u istoj razini s referentnom točkom ramena (pozicija 0), a 22,58% kada su zapešća bila iznad referentne točke ramena (pozicija 2).

Rezultati u tablici 6.2., prikazuju srednje vrijednosti deskriptivnih parametra ostvarenih rasterećenja sile reakcije podloge u zavisnosti od vertikalne pozicije zapešća u odnosu na referentnu točku ramena. Vidljivo je da su se veće sile rasterećenja ostvarivale kada su se zapešća nalazila iznad referentne točke ramena (pozicija 2), a najmanje sile rasterećenja su se ostvarile kada su zapešća bila u razini s referentnom točkom ramena (pozicija 0). Prosječna vrijednost ostvarene razlike visine zapešća u odnosu na referentnu točku ramena za poziciju 1 iznosila je 28,79 cm, a za poziciju 2 iznosila je 14,25 cm. Iz tablice je vidljivo da se razlika maksimalne sile rasterećenja podloge ostvarila kada se zapešće nalazilo iznad referentne točke ramena (pozicija 2) i iznosila je 5193,27 N, dok je srednja vrijednost sile rasterećenja podloge iznosila 3290,72 N (±1090,75). Vidljivo je da se i najmanja prosječna razlika sile rasterećenja podloge kao i maksimalna razlika sila rasterećenja podloge, stvarala kada se zapešće nalazilo u poziciji 0 odnosno kada je zapešće bilo u istoj razini s referentnom točkom ramena (2261,59 N ±301,80; 2475,00 N).

***Tablica 6.2.*** *Deskriptivni parametri pozicije zapešća (N=93)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| pozicija | M visina (cm) | M sila (N) | max sila (N) | br z |
| 0 | 0 | 2261,59 (±301,80) | 2475,00 | 2 |
| 1 | -28,83 (±1,52) | 2917,87 (±1015,36) | 5089,84 | 70 |
| 2 | 12,33 (±1,06) | 3290,72 (±1090,75) | 5193,27 | 21 |

*legenda: aritmetička sredina visine zapešća u odnosu na referentnu točku ramena (M visina), aritmetička sredina razlike stvorene sile rasterećenja podloge (M sila), maksimalna razlika sile rasterećenja podloge (max sila), broj izvedenih zamaha rukama (br z).*

Tako dobivene prosječne vrijednosti zavisne varijable *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**), ukazuju na izraženu ulogu zamaha ruku u izvođenju vertikalnog skoka te se postavlja pitanje stvarne uloge različitosti izvedbe zamaha rukama u motoričkim aktivnostima u kojima je zamah rukama jedan od prediktora uspješnijeg izvođenja vertikalnog skoka.

Usporedbom prosječne vrijednosti rezultata u varijabli *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**), ovo mjerenje pokazuje najveće iznose sile od dosad provedenih istraživanja pojedinih autora, i to za 1021,47 N više nego što su izmjerili neki autori (*Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 2004; Lees i sur., 2004; Vanezis i sur, 2005; Riggs i sur., 2009*), u svojim istraživanjima.

Rezultati dobiveni razlikom izvedenih skokova, *vertikalnog skoka sa i bez zamaha ruku* (**hdiffSKOK**) (Tablica 6.3.), koji su dobiveni ovim mjerenjem, gotovo su identični rezultatima pojedinih autora u dosadašnjim istraživanjima (*Harman i sur., 1990; Feltner i sur., 1999; Vanezis i Lees, 2005; Hara i sur., 2006; Riggs i Sheppard, 2009*), što je dodatno potvrda valjanosti ovoga mjerenja.

***Tablica 6.3.*** *Deskriptivni parametri vertikalnog skoka (N=31)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | M | SD | min | max |
| vertikalan skok sa zamahom rukama (cm), (SKOKsz) | 60,78 | ±6,14 | 47,83 | 76,33 |
| vertikalan skok bez zamaha ruku (cm), (SKOKbz) | 51,30 | ±6,81 | 38,06 | 71,33 |

*legenda:aritmetička sredina (M), minimalan iznos varijable (min), standardna devijacija (SD), maksimalan iznos varijable (max).*

**6.2. Korelacijska analiza varijabli**

Prema Kolesariću i Petzu (1999) koeficijent korelacije u rasponu od 0,0 do 0,2 ukazuje na nikakvu ili vrlo slabu povezanost; između 0,2 i 0,4 na slabu povezanost; između 0,4 i 0,7 na srednju povezanost, a vrijednosti preko 0,7 ukazuju na veliku povezanost među varijablama. Prikaz koeficijenata korelacije izmjerenih varijabli u tablici 6.5., upućuju na stupnjeve sukladnosti (koeficijent korelacije, *r*), među mjerenim varijablama.

Tako je vidljivo da na razini značajnosti od p<0,01, postoje visoke i srednje vrijednosti korelacije za slijedeće kinematičke veličine koje mjere zamah rukama. Visoke korelacije izmjerene su za varijablu *put deceleracije u zamahu* (**PD**), s varijablom *vrijeme trajanja deceleracije* (**DvtrZ**), s koeficijentom korelacije, *r*=0,828, i s varijablom *vertikalna* *visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj osi* (**hzmV**),i negativnom korelacijom, *r*=-0,824. Nadalje, varijabla *vrijeme trajanja zamaha ruku* (**vtrZ**), s varijablom *vrijeme trajanja akceleracije* (**AvtrZ**), ima korelaciju od *r*=0,740. Također varijabla *vrijeme trajanja deceleracije* (**DvtrZ**) ima veliku negativnu korelaciju s varijablom *vertikalnom visinom zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj osi* (**hzmV**), *r*=-0,704. Dobivene srednje vrijednosti korelacije mogu se naći između varijable *vrijeme trajanja akceleracije* (**AvtrZ**), i varijable *vertikalne visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj osi* (**hzmV**), *r*=0,493, zatim između varijable *put deceleracije u zamahu* (**PD**), i varijable *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini zamaha* (**Ldeg**), s koeficijentom korelacije, *r*=0,525, kao i između varijable *maksimalna brzina zamaha ruku* (**VmaksZ**), i kriterijske varijable *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**), gdje je koeficijent korelacije *r*=0,477. Negativne srednje vrijednost korelacija postoje između varijable *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini zamaha* (**Ldeg**), s varijablom *vertikalna visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj osi* (**hzmV**), *r*=-0,485, kao i između varijable *put deceleracije u zamahu* (**PD**), i varijable *vrijeme trajanja akceleracije* (**AvtrZ**), s koeficijentom korelacije, *r*=-0,409.

Iz rezultata prikazanih u tablici 6.4., vidljivo je da su velike i srednje povezanosti različitih prediktorskih varijabli u ovom mjerenju izmjerene s jednom prediktorskom varijablom, a to je *vertikalna* *visina zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj osi* (**hzmV**). Tako dobiveni podaci ukazuju na to da su ispitanici u ovom mjerenju izvodili zamah rukama uz kraći put deceleracije (**PD**), 71,22 cm (± 23,11), kao i kraće vrijeme trajanja deceleracije zamaha (**DvtrZ**), 0,12 s (±0,03), ali uz duže vrijeme trajanja akceleracije zamaha rukama (**AvtrZ**), 0,20 s (±0,04).

Kako je iz rezultata vidljivo, vrijeme trajanja zamaha (**vtrZ**) iznosilo je 0,32 s (±0,04), a ti rezultati ukazuju da su ispitanici izvodili zamahe na osnovu vremenski dužeg trajanje zamaha ruku-akceleracije (**AvtrZ**), te u vrlo kratkom vremenu uspijevali postignute maksimalne brzine zamaha svesti na mirovanje-deceleracija (**DvtrZ**). Konkretno, uz izrazitu kontrakciju mišića ramenog zgloba, kao početnog segmenta ruke koji predvodi izvođenje zamaha (*Bernstein, 1996*), mišićna sila se prenosila pomoću interakcijskih sila i momenata (*Debicki i sur., 2010*), od proksimalnog prema distalnom segmentu ruke (*Pandy i sur., 1991*), da bi na zapešću kao krajnjem dijelu ruke izmjerili prosječnu maksimalnu brzinu zamaha od 11,00m**.**s-1, (± 0,93), odnosno, najvećubrzinu zamaha koja je iznosila 12,86 m**.**s-1, a kut u zglobu lakta u trenutku ostvarivanja maksimalno izmjerene brzine zamaha iznosio je 134,68°. Ispitanici su tako stvorene maksimalne brzine zamaha kao i početak deceleracije zamaha ostvarivali u trenutku kada su se zapešća nalazila ispod razine referentne točke ramena u sagitalnoj ravnini (pozicija 1), gdje je čak 70 izvedenih zamaha ruku ostvareno ispod referentne točke ramena, a što je vidljivo i iz tablice 6.2.

Iz dobivenih rezultata uočena je slabija povezanost varijable *vrijeme trajanja deceleracije* (**DvtrZ**), sa slijedećim kinematičkim varijablama: varijabla *vrijeme trajanja zamaha ruku* (**vtrZ**), s koeficijentom korelacije, *r*=0,359, (p<0,01), zatim, u negativnoj korelaciji s varijablom *vrijeme trajanja akceleracije* (**AvtrZ**), *r*=-0,356, (p<0,01) te pozitivnom korelacijom s varijablom *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini* (**Ldeg**), s koeficijentom korelacije od *r*=0,333 (p<0,01). Vidljivo je da su ispitanici ostvarivali kraći put zaustavljanja kretanja zamaha ruku (**PD**), a koji je povezan s vremenom trajanja tog zaustavnog puta (**DvtrZ**), ostvarenim u ukupnom vremenu trajanja zamaha rukama (**vtrZ**).

Prema podacima u tablici 6.4., vidljivo je da su varijable morfoloških obilježja mase segmenata ruku na razini p<0,01, međusobno u značajnoj i visokoj povezanosti. Tako je varijabla *masa podlaktica* (**AVMP**), povezana s varijablom *masa ruku* (**AVMR**), korelacijskim koeficijentom *r*=0,846, te s varijablom *masa šaka* (**AVMŠ**), također velikom povezanošću od *r*=0,844. Varijabla *masa ruku* (**AVMR**), također je s velikim koeficijentom korelacije *r*=0,741 povezana s varijablom *masa šaka* (**AVMŠ**). U srednjoj su povezanosti varijable *masa ruku* (**AVMR**), i *masa nadlaktica* (**AVMN**), gdje je *r*=0,501, te varijabla *masa nadlaktica* (**AVMN**), s varijablom *masa podlaktica* (**AVMP**), s korelacijskim koeficijentom *r*=0,405. Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su najveće povezanosti masa segmenata ruke bile između masa segmenata podlaktica (**AVMP**), s ukupnom masom ruku (**AVMR**), te s masom šaka (**AVMŠ**), kao i masa šaka (**AVMŠ**), s masom ruku (**AVMR**).

Ako se promotre rezultati u tablici 6.1., uočava se da je upravo podlaktica, kao srednji segment građe ruke, veza proksimalnog i distalnog segmenta ruke te je kod ispitanika u ovom mjerenju, srednja vrijednost mase podlaktice (2,40 kg, ±0,32) u ukupnoj srednjoj vrijednosti mase ruke (9,49 kg, ±0,76) zastupljena s 25,29%. Preko podlaktice se na šaku prenose interakcijske sile zamaha stvorene u zglobu ramena i na taj način stvara preduvjet ostvarivanja maksimalnih brzina zamaha ruke mjereno na zapešću kao krajnjem segmentu ruke. Za pretpostaviti je da će povećana masa ruke, a posebice nadlaktice i podlaktice, biti veća upravo zbog povećane mišićne mase pojedinih segmenata ruke, i to zato što su u istraživanje bili uključeni sportaši pa je za pretpostaviti da će povećana masa ruku biti upravo zbog veće nemasne komponente u ukupnoj masi ruku.

Varijabla *vrijeme trajanja zamaha ruku* (**vtrZ**), na razini od p<0,01, i koeficijentom korelacije, *r*=308, povezana je s varijablom *masom šaka* (**AVMŠ**), a sama varijabla *masa šaka* je na razini od p<0,05, slabo povezana (*r*=0,223), s varijablom *vrijeme trajanja akceleracije* (**AvtrZ**). Na osnovu tih rezultata moglo bi se zaključiti, da ispitanici s većom masom šaka imaju duže trajanje kako zamaha, tako i vremena trajanja postizanja maksimalne brzine zamaha. U prilog ostvarivanja veće brzine zamaha ruku vidljivo da postoji slaba povezanost na razini od p<0,05, varijable *mase podlaktica* (**AVMP**), s varijablom *maksimalna brzina zamaha* (**VmaksZ**), s koeficijentom korelacije *r*=0,231, te s varijablom *vrijeme trajanja zamaha* (**vtrZ**), s koeficijentom korelacije, *r*=0,229.

Na osnovu tih rezultata može se pretpostaviti da su ispitanici koji su imali manje mase podlaktica (**AVMŠ**), kao i masu šaka (**AVMŠ**), ostvarivali manje brzine zamaha rukama uz vremenski kraće trajanje kako zamaha tako i akceleracije zamaha.

Rezultati deskriptivne statistike ukazuju na sukladnost pojedinih rezultata ovog istraživanja s rezultatima drugih autora. To se osobito odnosi na maksimalnu brzinu zamaha rukama (**VmaksZ**), kut u zglobu lakta (**Ldeg**) te vertikalne skokove sa i bez zamaha rukama (**SKOKsz** i **SKOKbz**). Ovo istraživanje se razlikuje od do sada provedenih u novom načinu utvrđivanja povezanosti navedenih varijabli, koje su koristili i drugi autori u svojim istraživanjima, s posljedičnim rasterećenjem tijela pri izvedbi suručnog zamaha rukama u izoliranim uvjetima. Kako bi utvrdili povezanost pojedinih prediktorskih varijabli s kriterijskom varijablom rasterećenja podloge uslijed izvedenog suručnog zamaha rukama u izoliranim uvjetima, različitim statističkim postupcima utvrdile su se prediktorske varijable koje najbolje objašnjavaju varijabilitet kriterijske varijable.

***Tablica 6.4.*** *Prikaz**koeficijenata korelacije*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | VmaksZ | PD | Ldeg | vtrZ | AvtrZ | DvtrZ | hdiff SKOK | RPZ | AVMR | AVMŠ | AVMP | AVMN | hzmV |
| VmaksZ | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PD | ,140 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ldeg | **,277\*\*** | **,525\*\*** | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| vtrZ | -,044 | ,183 | ,183 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| AvtrZ | ,083 | **-,409\*\*** | -,069 | **,740\*\*** | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| DvtrZ | -,174 | **,828\*\*** | **,333\*\*** | **,359\*\*** | **-,356\*\*** | 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| hdiffSKOK | **-,213\*** | -,031 | ,080 | ,108 | ,071 | ,080 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| RPZ | **,477\*\*** | ,037 | ,008 | -,016 | ,048 | -,078 | -,155 | 1 |  |  |  |  |  |
| AVMR | ,183 | ,067 | -,027 | **,221\*** | ,158 | ,092 | ,160 | ,136 | 1 |  |  |  |  |
| AVMŠ | ,105 | ,055 | -,048 | **,308\*\*** | **,223\*** | ,096 | ,070 | -,079 | **,741\*\*** | 1 |  |  |  |
| AVMP | **,231\*** | ,035 | -,157 | **,229\*** | ,202 | ,033 | ,011 | ,093 | **,846\*\*** | **,844\*\*** | 1 |  |  |
| AVMN | ,029 | ,057 | **-,244\*** | ,160 | ,109 | ,086 | ,179 | ,183 | **,501\*\*** | **,240\*** | **,405\*\*** | 1 |  |
| hzmV | ,056 | **-,824\*\*** | **-,485\*\*** | -,025 | **,493\*\*** | **-,704\*\*** | -,159 | ,176 | -,042 | -,084 | ,005 | -,011 | 1 |

*legenda: označena razina značajnosti (p) uz \* p<0,05, i \*\* p<0,01*

**6.3. Regresijska analiza varijabli**

Utvrđivanje prediktorskih kinematičkih varijabli koje najbolje objašnjavaju varijabilitet kriterijske varijable, *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**), izvedeno je pomoću metode regresijske analize. Skupinu prediktorskih varijabli sačinjavalo je jedanaest varijabli (**VmaksZ**, **PD**, **Ldeg**, **vtrZ**, **AvtrZ**, **DvtrZ**, **AVMR**, **AVMŠ**, **AVMP**, **AVMN**, **hzmV**). Kako bi se utvrdila snaga mjerenih prediktorskih varijabli na kriterijsku varijablu, izračunata je hijerarhijska regresijska analiza „*backward*“ metodom. Korištenjem hijerarhijske regresijske analize (Tablica 6.5.), broj varijabli reduciran je na četiri statistički značajne, uz koeficijent multiple korelacije R=0,571, te objašnjenje 29,6% varijance rezultata u zavisnoj varijabli, uz razinu značajnosti p<0,05.

***Tablica 6.5.*** *Rezultati backward regresijske analize*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R | R2 | k.R2 | SEE | F | df |
| ,571(a) | ,326 | ,296 | 751,80 | 10,65 | 4 |

*legenda: (a) zavisna varijabla: razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku (RPZ), koeficijent multiple korelacije (R), koeficijent determinacije (R2), korigirani koeficijent determinacije (k.R2), standardna pogreška prognoze (SEE), F-omjer (F), broj stupnjeva slobode (df).*

U tablici 6.6., prikazani su rezultati *„backward“* regresijske analize s hijerarhijskom strukturom prediktorskih varijabli prema kriterijskoj varijabli, *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**).

Iz rezultata dobivenih „*backward*“ metodom hijerarhijske analize (Tablica 6.6.), vidljivo je da varijabla *maksimalna brzina zamaha* (**VmaksZ**, *β*=0,49), u najvećem opsegu objašnjava kriterijsku varijablu, slijedi varijabla *masa šaka* (AVMŠ, *β*=-0,44), potom varijabla *masa ruku* (**AVMR**, *β*=0,39) i na posljednjem mjestu je varijabla *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini* (Ldeg, *β*=-0,16).

***Tablica 6.6.*** *Rezultati „backward“ regresijske analize s hijerarhijskom strukturom prediktorskih varijabli prema kriterijskoj varijabli*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | B | Be | β | t | p |
| VmaksZ | 463,97 | 89,64 | ,49 | 5,18 | ,000 |
| AVMŠ | -3138,92 | 934,86 | -,44 | -3,36 | ,001 |
| AVMR | 462,48 | 156,87 | ,39 | 2,95 | ,004 |
| Ldeg | -8,37 | 4,47 | -,16 | -1,78 | ,079 |

*legenda: (B) nestandardizirani regresijski koeficijent, (Be) standardna pogreška nestandardiziranih regresijskih koeficijenata, (β) standardni regresijski koeficijent, (t) t-vrijednost kojom se testira značajnost regresijskih koeficijenata, (p) razina značajnosti.*

Ako se sagledaju dijelovi višesegmentalnog modela kao što je ruka sa svim svojim sastavnicama, lako je uočljivo da postoji više faktora koji djeluju na pokretanje ruku, odnosno u ostvarivanje maksimalne brzine zamaha ruku, a što je i bio jedan od ciljeva ovog istraživanja. Prije svega to je ukupna masa ruke kao i dužina svakog pojedinog segmenta ruke u otvorenom kinematičkom lancu. Upravo zbog toga, interakcijske sile koje se stvaraju uslijed mišićnih kontrakcija pri izvođenju pokreta u ovom više segmentalnom modelu, imaju veliku ulogu (*Bernstein, 1996*). Odnosi između stvorene mišićne sile i pokreta u jednom zglobu, mogu promijeniti način stvaranja mišićne sile i pokreta susjednog zgloba. Upravo su to svojim istraživanjem i dokazali Cook i Virji-Babul, (1995), istražujući neuromišićnu povezanost mišića nadlaktice i podlaktice pri različitim brzinama izvođenja pokreta zgloba lakta i zapešća u horizontalnoj ravnini. U istraživanjima mnogih autora nalazimo veliku povezanost pogrčenosti ruke u zglobu lakta pri ostvarivanju maksimalnih brzina zamaha rukama (*Hong i sur., 1994; Bernstein, 1996; Galloway i Koshland, 2001; Hirashima i sur., 2008; Debicki i sur., 2010*). U većini navedenih istraživanja autori ukazuju na povezanost interakcijskih sila u mišićima ruku i ramenog pojasa nastalih za vrijeme izvođenja zamaha. Zavisno o uvježbanosti pokreta i koordinaciji, stvorene mišićne sile ubrzavaju ili usporavaju zamah ruku.

Nadalje, momenti stvoreni u pojedinim zglobovima također djeluju interakcijski i povezani su sa izvedbom pokreta. Sve navedeno upućuje na činjenicu da pokreti ruke nisu jednostavni te da ih sačinjava velik broj sastavnica koje uz dobro izrađen motorički stereotip gibanja, dovode do pokretanja ovog višesegmentalnog sustava.

U ovom istraživanju, izolirani maksimalni zamah rukama objašnjen je sa 29,6% varijance rezultata u kriterijskoj varijabli pomoću jedanaest odabranih prediktorskih varijabli što ukazuje na jedan veliki dio nerazjašnjenih i neistraženih dimenzija koje imaju povezanost sa maksimalnim zamahom ruke te na taj način i na rasterećenje tijela pri kineziološkim aktivnostima.

Svi ispitanici u ovome mjerenju koji su ostvarivali veće razlike rasterećenja podloge prije i nakon izvedenog zamaha, ostvarivali su to prvenstveno na osnovu velike maksimalne brzine zamaha ruku. Upravo ovu činjenicu, da se uz pomoću stvorene veće maksimalne brzine zamaha ruku ostvaruje efikasniji odraz koji rezultira većom visinom vertikalnog skoka, potvrdili su brojni autori u svojim istraživanjima (*Elftman,1939; Payne i sur.,1968; Luhtanen i Komi, 1978; Ae i Shibukawa,1980; Shetty i Etnyre,1989; Harman i sur.,1990; Hinrichs,1990; Feltner i sur.,1999; Lees i Barton,1996; Ashby,2002; Lees i sur.,2004*). U tim su se istraživanjima autori vodili za činjenicom da su ispitanici ostvarili maksimalan vertikalni skok prvenstveno na osnovu izvršene eksplozivne kontrakcije mišića nogu. Tako ostvaren vertikalni skok ispitanici su izvodili sa ili bez zamaha rukama. U ovome mjerenju se po prvi puta mjeri samo povezanost zamaha rukama s rasterećenjem podloge, te je iz rezultata vidljivo da se prvenstveno pomoću stvaranja maksimalne brzine zamaha rukama ostvaruju veće rasterećenja podloge koje dovodi do efikasnijeg odraza i na koncu većeg ostvarenog vertikalnog skoka.

Iduća varijabla koja ima veliku povezanost s rasterećenjem podloge uslijed izoliranog zamaha rukama, je masa šaka (**AVMŠ**). Izračunati iznos *β* vrijednosti je -0,44 (na razini značajnosti od p<0,001). Masa šaka ima negativan predznak te je, prema tome, manja masa šaka u većoj povezanosti s ostvarenim većim rasterećenjem podloge uslijed izvedbe zamaha rukama. Taj podatak bi mogao ukazivati na činjenicu da je većina ispitanika koji su imali manju masu šaka, uspjela ostvariti i veću maksimalnu brzinu zamaha rukama, a kao posljedica toga i veće rasterećenje podloge.

Poznato je da se šaka nalazi na kraju otvorenog kinetičkog lanca, ruke, sastavljenog od tri segmenta. Podlaktica čini jednokraku polugu trećeg stupnja, polugu brzine, gdje se točka djelovanja mišićne sile nalazi između točke oslonca i napadne točke sile gravitacije. Kod te vrste poluge veća brzina postiže se ako je napadna točka mišićne sile bliže zglobu. Učinkovitost mišićne sile i stvaranje većeg momenta, ovisi o udaljenosti između napadne točke sile i osovine gibanja (*Dodig, 1994*). Šaka čineći kruto tijelo zajedno s podlakticom, produžuje podlakticu odnosno krak poluge nad kojim djeluje mišičina sila pregibača zgloba lakta povećavajući moment sile mišića.

Mišići *m.biceps brachi, m.brachialis* i *m.brachioradialis* glavni su pokretači akcije pregibanja lakatnog zgloba, a kako je taj zglob poluga brzine, od velike je važnosti da sama masa šake nije velika. Veća masa šake stvara veće opterećenje na kraju kraka poluge te na taj način usporava izvedbu zamaha ruke jer je veće opterećenje mišićima pregibačima lakatnog zgloba. Također se isti sistem prijenosa sile odvija i u zglobu ramena gdje *m.deltoideus* izvršava funkciju pregibanja nadlaktice u ramenom zglobu, točnije *pars clavicularis* do kuta od oko 90°. Kao mišići sinergisti u pokretu antefleksije nadlaktice sudjeluju još i *m.pectoralis major (pars clavicularis)* i *m.coracobrachialis*, a sva tri suradna mišića u pokretu antefleksije djeluju kao jednokraka poluga brzine. Kako se šake nalaze na distalnom krajusegmenta podlaktice, momenti cijelog sustava mišića čine polugu i to poluga brzine, te sve to rezultira maksimalnim brzinama zamaha. U slučaju kada bi šake bile većih masa, veći dio stvorene sile izgubio bi se na svladavanje inercije šaka, a krajnji ishod akcije zamaha ruke, ostvarivanje maksimalne brzine zamaha bio bi sporiji zamah.

Slijedeća značajna varijabla, koja također opisuje antropometrijske osobine ispitanika, je varijabla masa ruke (**AVMR**). Uz izračunati iznos *β* vrijednosti od 0,39 (na razini značajnosti od p<0,004), varijabla se nalazi na trećem mjestu kao prediktor koji je povezan s kriterijskom varijablom. Kako navode Debicki i sur. (2010) ostvarene brzine zamaha ruke uvelike su povezane sa stvorenim interakcijskim silama prvenstveno u zglobu ramena koje nastaju zbog djelovanja mišićnih kontrakcija pri izvedbi pokreta.

Stvorene interakcijske sile u zglobu ramena, povećanjem se prenose na susjedni zglobni sustav, zglob lakta i povećavaju obrtni moment u tom zglobu (*Hollerbach i Flash, 1982*). Primjerice, stvoreni moment u zglobu ramena se pomoću interakcijskih sila prenosi na zglob lakta pojačavajući moment u zglobu lakta, te se tako pojačanog djelovanja sila prenosi na zapešće, u smjeru proksimalno do distalnog dijela ruke (*Almeida i sur., 1995; Latach i sur., 1995; Dounskaia i sur., 1998*). Kako su u ovom mjerenju ispitanici bili aktivni sportaši za pretpostaviti je da je udio mišićne, nemasne komponente u masi ruku veći nego udio potkožnog masnog tkiva, masne komponente.

Zbog povećane mase mišića ruku, a poglavito mišića koji izvode antefleksiju nadlaktice i podlaktice, ispitanici su bili u stanju stvarati i veću mišićnu silu koja je na koncu rezultirala većim brzinama zamaha ruku. Također, ako postoji mogućnost stvaranja veće mišićne sile koja djeluje po kraku, u ovom mjerenju taj krak čine podlaktica i šaka, tada će i stvoreni momenti biti veći. Povećavajući maksimalnu ostvarenu brzinu zamaha ruku doći će i do povećanja kriterijske varijable. To potvrđuju i rezultati prikazani u Tablici 6.4., gdje je povezanost varijable *maksimalna brzina zamaha ruku* (**VmaksZ**) s kriterijskom varijablom *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom ruku* (**RPZ**), na razini srednje korelacije od *r*=0,477 na razini značajnosti p<0,001. Iz svega navedenoga jasno je zašto je masa ruku važna za rasterećenja podloge. Ako se zna da je centar rotacije ruku u zglobu ramena, te ako se zna da se velike mišićne skupine, koje su odgovorne za izvođenje zamaha, svojim proksimalnim dijelom vezane za zglob ramena, tada je evidentno da će i moment sile, koji ruci daje ubrzanje, biti veći, te će i zamah ruku biti brži, a samim time će biti i veće rasterećenje podloge. To potvrđuju i istraživanja mnogih autora (*Payn i sur.,1968; Hay i sur., 1978; Hay i sur., 1981; Lees i sur., 2004; kao i Hara i sur., 2006*) koji su ustanovili da su momenti sile u ramenu, laktu i ručnom zglobu povezani sa zamahom ruku u značajnoj korelaciji s visinom skoka. Pri zamahu ruku u smjeru antefleksije sudjeluju velike mišićne skupine preko ramenog i lakatnog zgloba, a kako je poznato da su to upravo sustavi jednokrake poluge brzine, jasno je da će uz maksimalnu mišićnu silu biti i stvorena maksimalna brzina zamaha rukama.

Opće je poznato da u ljudskom tijelu kao višesegmentalnom kompleksnom sustavu, lokomotorni aparat podložan velikim promjenama djelovanja sile. Upravo zbog toga su promjenama podložne i poluge u ljudskom tijelu te se uslijed pomicanja dijelova tijela pomiče i napadna linija sile gravitacije u odnosu na točku oslonca. Prema tome (*Dodig, 1994*) dvostrane poluge mogu se promijeniti u jednostrane, a moguće su i promjene poluga sila u poluge brzine i obratno.

Pokret zaustavljanja zamaha ruku moguć je uslijed aktivacije mišića antagonističkih skupina i to prvenstveno mišića zgloba ramena, dok su mišići zgloba lakata i zgloba šake u izometričkoj kontrakciji te i dalje ostvaruju stabilitet segmenata.

Antagonistička skupina mišića zgloba ramena su *m.deltoideus,* *(pars spinalis)*, *m.infraspinatus,* zatim mišići *m. teres minor* i *m.teres major,* te *m.latissimus dorsi.* U trenutku naglog zaustavljanja pokreta antefleksije nadlaktice, zbog promjene djelovanja smjera opterećenja na krajnjem segmentu ruke, a uslijed djelovanja mišićnih sila antagonističkih skupina, prema zakonima fizike moment stvorenih mišićnih sila okreće polugu suprotno smjeru u odnosu na moment opterećenja. Možda je upravo ova promjena smjera momenata od presudnog značaja za ostvarivanje maksimalnih rasterećenja sila reakcije podloge pri naglom zaustavljanju pokreta zamaha rukama. Ovim promišljanjem približavamo se teoriji *povećanja momenata* koju su u svojim istraživanjima razrađivali neki autori (*Dapena i sur.,1988; Harman i sur.,1990; Feltner i sur., 1999*).

Što će brzina zamaha biti veća, uz kraće vrijeme trajanja zaustavljanja zamaha (**DvtrZ**), to će stvoreni momenti sile u tijelu biti veći. Upravo bi to mogao biti razlog zbog kojeg dolazi do odvajanja tijela od podloge, o čemu su u svojim istraživanjima govorili mnogi autori a ova pojava nije do kraja istražena i objašnjena (*Harman i sur.,1990*).

U ovom je istraživanju vidljivo da su četiri kinematičke veličine dobivene hijerarhijskom analizom značajne i objašnjavaju 29,6% varijance rasterećenja podloge pri izvedbi izoliranog zamaha ruku. Time je djelomice potvrđena alternativna hipoteza (***H1***) koja pretpostavlja da će korišteni kinematički parametri objasniti veći varijabilitet kriterijske varijable, kao i alternativna hipoteza (***H2***) koja pretpostavlja da su masa ruku i njeni segmenti značajno povezani s rasterećenjem pritiska podloge nakon izvedenog zamaha ruku.

Iz rezultata je vidljivo da je varijabla kut u zglobu lakta (**Ldeg**) također prema rezultatima hijerarhijske analize, uključena kao jedna od prediktorskih varijabli koje imaju povezanost s razlikom rasterećenja podloge, iako je na razini značajnosti od p<0,079. U tablici 6.4., koja prikazuje korelacije varijabli, vidljivo je da je ova varijabla u pozitivnim korelacijama s većinom varijabli koje pripadaju prediktorskoj skupini kinematičkih varijabli te su dio predmeta mjerenja u ovom istraživanju. Kut u zglobu lakta u pozitivnim je korelacijama s maksimalnom brzinom zamaha, putom deceleracije i vremenom trajanja deceleracije, a u negativnoj korelaciji s visinom zapešća u trenutku maksimalne brzine zamaha u odnosu na referentnu točku ramena u sagitalnoj ravni.

Istraživanja mnogih autora dokazala su značajnu povezanost pogrčenosti ruke u zglobu lakta pri ostvarivanju maksimalnih brzina zamaha rukama (*Bernstein, 1996; Reina i sur., 2000; Galloway i Koshland, 2001; Hirashima i sur., 2008; Debicki i sur., 2010*). U većini navedenih istraživanja autori su ukazivali na međusobnu povezanost interakcijskih sila u mišićima ruku i ramenog pojasa stvorenih za vrijeme izvođenja zamaha. Ovisno o uvježbanosti pokreta, koordinacijom, stvorene mišićne sile ubrzavaju ili usporavaju zamah ruku. Na ove tvrdnje se veže i prije spomenuti prijenos sile od proksimalnog do distalnog dijela ekstremiteta. Nadalje, momenti stvoreni u pojedinim zglobovima također djeluju interakcijski i povezani su s izvedbom pokreta. Primjerice, u istraživanju koje su proveli Galloway i Koshland (2001), proučavano je na koji su način međusobno povezani pojedini dijelovi ruke (rame, nadlaktica, podlaktica i šaka) pri izvođenju brzih pokreta, odnosno, na koji je način interakcija mišićnih sila povezana s koordinacijom pokreta. Također, u istraživanju se željelo utvrditi na koji su način momenti ramenog zgloba, zgloba lakta i zapešća, stvoreni aktivacijom mišića ruke, povezani s pokretima ruke kao više segmentalnog modela.

U njihovim je rezultatima istaknuto da se ubrzanje zgloba lakta i zapešća primarno generira u zglobu ramena kombinacijom mišićnih kontrakcija i interakcijskih sila te da se najveća ubrzanja zapešća postižu kada je kut u zglobu lakta između 120° i 150°. U ovom istraživanju izračunata srednja vrijednost maksimalne brzine zamaha iznosila je 11,00 m.s-1 (±0,93), a srednja vrijednost kuta u zglobu lakta iznosila je 120,67° (±17,38).

Maksimalna izmjerena brzina zamaha ruku iznosi 12,86 m.s-1, a ostvarena je pri kutu od 134,68°, dok je minimalna izmjerena brzina zamaha ruku iznosila 8,49 m.s-1 ostvarena pri kutu od 101,10°. Minimalno izmjeren kut u zglobu lakta iznosio je 85,13°, a maksimalno izmjeren kut u zglobu lakta za vrijeme izvođenja zamaha iznosio je 168,13° (Tablica 6.7.).

Na osnovu rezultata regresijske analize (Tablica 6.6.), vidljivo je da je jedan od faktora koji su povezani s rasterećenjem i kut u zglobu lakta. Iako je ta varijabla na razini značajnosti od p=0,079, uz malu negativnu *β* vrijednost (-0,16), uzevši u obzir navedena istraživanja u neuromuskularnom području, te načina na koji se ostvaruje pokret, u ovome istraživanju se utvrdila i povezanosti kuta u zglobu lakta (**Ldeg**) te ostvarene maksimalne brzine zamaha rukama (**VmaksZ**).

***Tablica 6.7.*** *Deskriptivni parametri nekih prediktorskih varijabli (N=93)*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | M | SD | min | max |
| maksimalna brzina zamaha ruku (VmaksZ) | 11,00 | ±0,93 | 8,49 | 12,86 |
| kut u zglobu lakta u trenutku ostvarivanja maksimalne brzine zamaha (Ldeg) | 120,67 | ±17,38 | 85,13 | 168,13 |

*legenda:aritmetička sredina (M), standardna devijacija (SD), minimalan iznos varijable (min), maksimalan iznos varijable (max).*

Prediktorske varijable koje su korištene pri izračunu u analizi su upravo one koje su, prema mišljenjima mnogih autora, u velikoj povezanosti sa stvaranjem većih brzina zamaha. U izračun su uzete varijable koje antropometrijski određuju ruku kao više segmentalni model (**AVMR**, **AVMŠ**, **AVMN** i **AVMP**), te *kut u zglobu lakta* (**Ldeg**). Upravo ove varijable prema navodima autora (*Hong i sur., 1994; Bernstein, 1996; Reina i sur., 2000; Galloway i Koshland, 2001; Hirashima i sur., 2008; Kim i sur., 2009; Debicki i sur., 2010*), imaju veliku povezanost sa ostvarenim brzinama pokreta za vrijeme izvođenja zamaha ruku.

Kako bi se utvrdila pouzdanija povezanost nabrojanih varijabli s varijablom *maksimalne brzine zamaha rukama* (**VmaksZ**), izračunata je hijerarhijska regresijska analiza, „*backward*“ metodom (Tablica 6.8.). Rezultati pokazuju da je broj varijabli reduciran na tri statistički značajne, uz multiplu korelaciju R=0,451, i objašnjenje 17,6% varijance rezultata u zavisnoj varijabli, uz razinu značajnosti p<0,001.

***Tablica 6.8.*** *Rezultati backward regresijske analize*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R | R2 | k.R2 | SEE | F | df |
| ,451(a) | ,203 | ,176 | 0,84324 | 7,564 | 3 |

*legenda: (a) zavisna varijabla: maksimalna brzina zamaha rukama VmaksZ, koeficijent multiple korelacije (R), koeficijent determinacije (R2), korigirani koeficijent determinacije (k.R2), standardna pogreška prognoze (SEE), F-omjer (F), broj stupnjeva slobode (df).*

U tablici 6.9., prikazani su rezultati *„backward“* regresijske analize s hijerarhijskom strukturom prediktorskih varijabli prema kriterijskoj varijabli, *maksimalna brzina zamaha* (**VmaksZ**).

***Tablica 6.9.*** *Rezultati „backward“ regresijske analize s hijerarhijskom strukturom prediktorskih varijabli prema kriterijskoj varijabli*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | B | Be | β | t | p |
| Ldeg | ,02 | ,00 | ,36 | 3,68 | ,000 |
| AVMP | 1,87 | ,53 | ,64 | 3,54 | ,001 |
| AVMŠ | -3,11 | 1,33 | -,42 | -2,34 | ,021 |

*legenda: (B) nestandardizirani regresijski koeficijent, (Be) standardna pogreška nestandardiziranih regresijskih koeficijenata, (β) standardni regresijski koeficijent, (t) t-vrijednost kojom se testira značajnost regresijskih koeficijenata, (p) razina značajnosti.*

Iz rezultata dobivenih „*backward*“ metodom hijerarhijske analize (Tablica 6.9.), vidljivo je da varijabla koja u najvećem opsegu objašnjava kriterijsku varijablu (**VmaxZ**), varijabla *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini* (**Ldeg**, *β*=0,36, p<0,000), slijedi varijabla *masa podlaktica* (**AVMP**, *β*=0,64, p<0,001) i na posljednjem mjestu je varijabla *masa šaka* (**AVMŠ**, *β*=-0,42, p<0,021).

Biomehanička analiza sila koje se uslijed djelovanja mišićnih sila i krakova poluga pojedenih dijelova u obliku momenata pojavljuju na ruci, predmet je proučavanja autora koji su ljudsko tijelo promatrali kao mehanički sustav sila (*Dodig, 1994; Jarić, 1997; Opavsky, 2004, Nikolić i sur, 2012*). Na temelju zakona fizike, uočeno je da je najveći moment jednokrake poluge pri kutu od 90° između nadlaktice i podlaktice.

Prema jednadžbi (6-1)

(6-1)

gdje *M* označava moment sile, *F* stvorenu silu mišića, *l* duljinu kraka poluge, a kut koji tvori hipotenuza pravokutnog trokuta je *sinα.* Vidljivo je da će najveći produkt stvorene mišićne sile i duljine kraka poluge upravo pri kutu nadlaktice i podlaktice od 90°, jer je sinus kuta od 90° najveći i jednak jedan. Kako je tijelo lokomotroni stroj koji u različitim izvedbama pojedinih pokreta objedinjuje velik broj mišićja i zglobova čineći na taj način kompleksnost pokreta, zakoni klasične fizike nisu uvijek jednako primjenjivi. Upravo zbog tih činjenica dolazi do izražaja važnost kuta u zglobu lakta jer će stvoreni momenti biti povezani sa pojedinim dijelovima lokomotornog sistema.

Sukladno navedenom, iako kod pravokutnog trokuta vrijedi jednadžba 6-1, u ljudskom pokretu se ne može u cijelosti primijeniti. Upravo zbog djelovanja različitih unutrašnjih i vanjskih sila koje djeluju u tijelu uslijed pokretanja, ne može identično primijeniti ni na lakatni zglob. Naime, prema istraživanjima autora Galloway i Koshland (2001), najveća izmjerena brzina šake generirala se kada je kut u zglobu lakta iznosio između 120° i 150°, a što potvrđuju i rezultati ovog istraživanja (Tablica 6.7.).

Na drugom mjestu prediktorskih varijabli koje objašnjavaju kriterijsku varijablu, *maksimalna brzina zamaha* (**VmaksZ**), nalazi se antropometrijska varijabla, *masa podlaktice* (**AVMP**), s *β* vrijednošću od *β=*0,64, na razini značajnosti od p<0,001. Kako je već prije istaknuto, moment se može povećati na osnovu povećanja sile, na osnovu povećanja kraka poluge (duljina podlaktice) i na osnovi kuta koji u ovom slučaju tvore nadlaktice i podlaktica. Kako je izračunom regresijske analize kao značajan prediktor dobivena varijabla masa podlaktice, za pretpostaviti je da se masa podlaktice može povećati na osnovu veće duljine ruke. Zbog toga se pristupilo i izračunu analize korelacije te dvije varijable, varijable *masa podlaktice* (**AVMP**) i varijable *duljina podlaktice* (**ALDP**), a dobiveni rezultat povezanosti je vrlo visok, *r*=0,761, uz p<0,001. Na osnovu visoke povezanosti te dvije varijable, može se zaključiti da će se povećanjem duljine ruke značajno povećati i masa podlaktice, a što pak ima veliku povezanost s povećanjem maksimalne brzine zamaha (*β*=0,64, p<0,001), kao što je vidljivo iz rezultata prikazanih u Tablici 6.9.

Kao posljednja, treća varijabla u skupu prediktorskih varijabli, nalazi se također antropometrijska varijabla *masa šaka* (**AVMŠ**) s negativnom *β* vrijednošću od *β=*-0,42, na razini značajnosti od p<0,021, što bi moglo upućivati na zaključak da će ispitanici s manjom masom šaka postizati i veće maksimalne brzine zamaha ruku. Šaka kao segment trodijelnog sistema ruke, nalazi se na distalnom dijelu podlaktice te se pruža u njenom nastavku. Također je već rečeno da je poželjno i zbog djelovanja momenata jako bitno da šaka prati smjer podlaktice čineći na taj način duži krak poluge ta dva segmenta ruke. Duži krak poluge uz istu mišićnu silu te poželjan kut od 120° do 150° između nadlaktice i podlaktice, tvori i veći moment sile i na taj način ubrzava zamah ruku. Upravo zato što se šaka nalazi na najdistalnijem dijelu otvorenog kinetičkog lanca, poželjno je da je njena masa manja kako ne bi stvarala dodatan otpor pokretu antefleksije u zglobu ramena i lakta.

Na osnovu rezultata dobivenih ovim mjerenjem, te na osnovu izračuna regresijske analize prikazanih u Tablici 6.9., vidljivo je da se maksimalna brzina zamaha ruku ostvarila ako su zadovoljena slijedeća tri uvjeta: *kut u zglobu lakta* (**Ldeg**), koji je bliži vrijednosti kuta između 120° i 150°, veća *masa podlaktica* (**AVMP**), te manja *masa šaka* (**AVMŠ**). Međutim, važno je istaknuti da ova tri izračunata prediktora objašnjavaju svega 17,6% varijance rezultata zavisne varijable.

Kako su zaključili pojedini autori koji su proveli istraživanja na ovu temu (*Hong i sur., 1994; Bernstein, 1996; Reina i sur., 2000; Galloway i Koshland, 2001; Hirashima i sur., 2008; Kim i sur., 2009; Debicki i sur., 2010*), vidljivo je da se zbog prijenosa interakcijskih sila i momenata proksimalnog prema distalnom segmentu ruke, sila povećavala. Na taj je način djelovala na proksimalne segmente ruke, te ih zbog momenata na zapešću, maksimalno ubrzavala. Upravo takva ubrzanja su moguća pod uvjetom da se ispune ova tri uvjeta koja su povezana s ubrzanjem zamaha ruku: kutom u zglobu lakta koji je između 120° i 150°, većom masom podlaktica i manjom masom šaka.

Kako se varijabla *maksimalna brzina zamaha ruku* (**VmaksZ**) nalazi na prvom mjestu i to s *β* vrijednošću od *β=*0,49 i na razini značajnosti od p<0,000 (Tablica 6.6.), razumljivo je da će rasterećenje podloge biti veće upravo na osnovu ova tri navedena uvjeta. Na osnovu tih rezultata i izračuna regresijskih jednadžbi (Tablica 6.8., i Tablica 6.9.), potvrđena je i alternativna hipoteza (***H3***), prema kojoj je *kut u zglobu lakta* (**Ldeg**), značajno povezan s rasterećenjem podloge i to upravo na osnovu stvorenog kuta u zglobu lakta koji je između 120° i 150°.

Varijabla *put deceleracije* (**PD**), odnosno put koji prolazi zapešće šake, a koji je potreban da se postignuta maksimalna brzina zamaha svede na nulu (potpuno mirovanje) prema izračunatim rezultatima regresijske analize ima malu i neznačajnu povezanost s kriterijskom varijablom (*β=*0,11, p<0,65). Kako je to upravo i bila jedna od hipoteza istraživanja, na osnovu rezultata u ovom istraživanju mora se odbaciti alternativna hipoteza (***H4***).

Kako bi se ispitala alternativna hipoteza (***H5***), u kojoj se pretpostavlja da su oni ispitanici koji su ostvarili veću *razliku u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom rukama* (**RPZ**), ujedno imali i veće razlike između *vertikalnog skoka sa i bez zamaha rukama* (**hdiffSKOK**), ispitana je razina korelacije između te dvije varijable. Rezultati upućuju na vrlo nisku negativnu korelaciju, *r=-0,155*, uzp<0,05, te se na osnovu tih rezultata može zaključiti kako ne postoji povezanost između ove dvije varijable. Prema tome, može se odbaciti alternativna hipoteza (***H5***).

**6.4. Analiza varijance**

U istraživanje su bile uključene tri grupe ispitanika iz različitih sportova, atletike, odbojke i sportske gimnastike. U svakom od pojedinih sportova, zamah ruku ima veliku povezanost s uspjehom i ostvarivanjem kvalitetnog gibanja u navedenim kineziološkim aktivnostima. Upravo je to i jedan od razloga odabira tih sportaša, različitosti izvedbe zamaha koje osiguravaju postizanje visokih rezultata i sportskih uspjeha. Zato se pomoću analize varijance željelo provjeriti postoji li statistički značajna razlika između tri odabrane skupine sportaša u nezavisnim i zavisnoj varijabli. Pri izračunu normaliteta distribucije rezultata pomoću Kolmogorov-Smirnovljev testa (K-S test), u Tablici 6.1., nije utvrđen normalitet distribucije za slijedeće nezavisne varijable: *maksimalna brzina zamaha ruku* (**VmaksZ**), *put deceleracije u zamahu* (**PD**), *razlika u visini vertikalnog skoka sa i bez zamaha rukama*, (**hdiffSKOK**), *masa nadlaktica* (**AVMN**) i *izvedba vertikalnog skoka bez zamaha ruku* (**SKOKbz**), tako da te varijable nisu upotrjebljene u daljnjem postupku obrade podataka. Rezultati analize varijance prikazani su u tablici 6.10., te je prema dobivenim rezultatima utvrđeno slijedeće. U većini varijabli postoji statistički značajan *F*-omjer, osim za slijedeće četiri varijable: *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini zamaha* (**Ldeg**), *vrijeme trajanja deceleracije* (**DvtrZ**), *visina zapešća u odnosu na referentnu točku ramena u trenutku maksimalne brzine zamaha* (**hzmV**), te *vertikalni skok sa zamahom ruku* (**SKOKsz**), u kojima nisu pronađene statistički značajne razlike među skupinama sportaša.

***Tablica 6.10.*** *Rezultati provedene analize varijance (N=93)*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | zbroj kvadrata | df | srednja vrijednost | F | p |
| Ldeg | 1025,75 | 2/90 | 512,87 | 1,72 | ,18 |
| vtrZ | ,03 | 2/90 | ,01 | 9,38 | ,00 |
| AvtrZ | ,01 | 2/90 | ,01 | 4,12 | ,02 |
| DvtrZ | ,00 | 2/90 | ,00 | 1,22 | ,30 |
| RPZ | 7779961,10 | 2/90 | 3889980,55 | 3,87 | ,03 |
| AVMR | 7,81 | 2/90 | 3,91 | 7,91 | ,00 |
| AVMŠ | ,37 | 2/90 | ,18 | 15,35 | ,00 |
| AVMP | 1,11 | 2/90 | ,55 | 6,02 | ,00 |
| hzmV | ,075 | 2/90 | ,04 | ,74 | ,47 |
| SKOKsz | 133,69 | 2/90 | 66,84 | 1,23 | ,30 |

***p<0,05***

*legenda: broj stupnjeva slobode (df), F omjer (F), razina značajnosti (p)*

Kako bi se utvrdilo između kojih pojedinih skupina sportaša prema odabranim sportovima postoji statistički značajna razlika u aritmetičkim sredinama, proveden je *post-hoc Scheffé* test pomoću kojeg se testira statistička značajnost među parovima aritmetičkih sredina po pojedinim sportovima, a rezultati su prikazani u Tablici 6.11.

***Tablica 6.11.*** *Opisni rezultati provedene post-hoc Scheffé analize po pojedinim sportovima (N=93)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| varijabla | *sport* | M (SD) | min | | max | *sport* | | t | | p | |
| vtrZ | *SPG* | ,33 (±0,05) | ,26 | | ,41 | *ATL* | | ,04(\*) | | ,001 | |
| *ODB* | | ,00 | | ,801 | |
| *ATL* | ,29 (±0,03) | ,25 | | ,35 | *SPG* | | -,04 (\*) | | ,001 | |
| *ODB* | | -,03 (\*) | | ,004 | |
| *ODB* | ,33 (±0,04) | ,26 | | ,38 | *SPG* | | -,00 | | ,801 | |
| *ATL* | | ,03 (\*) | | ,004 | |
| AvtrZ | *SPG* | ,22 (±0,05) | ,14 | | ,30 | *ATL* | | ,03(\*) | | ,029 | |
| *ODB* | | ,00 | | ,841 | |
| *ATL* | ,19 (±0,03) | ,13 | | ,25 | *SPG* | | -,03(\*) | | ,029 | |
| *ODB* | | -,023 | | ,097 | |
| *ODB* | ,21 (±0,04) | ,13 | | ,28 | *SPG* | | -,003 | | ,841 | |
| *ATL* | | ,023 | | ,097 | |
| RPZ | *SPG* | 2908,71 (±745,39) | 1367,88 | | 4411,00 | *ATL* | | -478,89 | | ,187 | |
| *ODB* | | 212,05 | | ,705 | |
| *ATL* | 3387,60 (±1036,75) | 1299,14 | | 5193,27 | *SPG* | | 478,89 | | ,187 | |
| *ODB* | | 690,94(\*) | | ,028 | |
| *ODB* | 2696,66 (±1163,00) | 973,00 | | 5089,84 | *SPG* | | -212,05 | | ,705 | |
| *ATL* | | -690,94(\*) | | ,028 | |
| AVMR | *SPG* | 9,54 (±0,60) | 8,77 | | 10,53 | *ATL* | | ,43 | | ,063 | |
| *ODB* | | -,27 | | ,325 | |
| *ATL* | 9,10 (±0,70) | 7,75 | | 10,26 | *SPG* | | -,43 | | ,063 | |
| *ODB* | | -,70 (\*) | | ,001 | |
| *ODB* | 9,80 (±0,78) | 9,04 | | 11,49 | *SPG* | | ,27 | | ,325 | |
| *ATL* | | ,70 (\*) | | ,001 | |
| AVMP | *SPG* | 2,33 (±0,29) | 1,72 | 2,71 | | | *ATL* | | -,01 | | ,998 |
| *ODB* | | -,23 (\*) | | ,013 |
| *ATL* | 2,33(±0,27) | 1,78 | 2,87 | | | *SPG* | | ,01 | | ,998 |
| *ODB* | | -,23(\*) | | ,016 |
| *ODB* | 2,56 (±0,34) | 2,14 | 3,26 | | | *SPG* | | ,23 (\*) | | ,013 |
| *ATL* | | ,23(\*) | | ,016 |
| AVMŠ | *SPG* | 1,09 (±0,09) | ,94 | | 1,20 | *ATL* | | ,05 | | ,267 | |
| *ODB* | | -,10 (\*) | | ,002 | |
| *ATL* | 1,04 (±0,09) | ,89 | | 1,18 | *SPG* | | -,05 | | ,267 | |
| *ODB* | | -,15(\*) | | ,000 | |
| *ODB* | 1,19 (±0,14) | 1,00 | | 1,46 | *SPG* | | ,10 (\*) | | ,002 | |
| *ATL* | | ,15(\*) | | ,000 | |

(*\**) *označena razina značajnosti (p) uz 0,005* ***p<0,05***

*legenda: sport kojim se bavi ispitanik (sport), sportska gimnastika (SPG), atletika (ATL), odbojka (ODB), srednja vrijednost (M), minimalna vrijednost varijable (min), maksimalna vrijednost varijable (max), vrijednost t-testa (t), stupanj značajnosti (p)*

Za varijablu *vrijeme trajanja zamaha* (**vtrZ**), dobivene su statistički značajne razlike između ispitanika koji su se bavili atletikom (*ATL*) i ostale dvije skupine ispitanika, sportska gimnastika (*SPG*, post-hoc Scheffé: t=-0,04, p=0,001), i odbojka (*ODB*, post-hoc Scheffé: t=-0,03, p=0,004), dok se između ispitanika sportske gimnastike i odbojke nije utvrdila statistički značajna razlika. Prema rezultatima analize varijance vidljivo je da su ispitanici koji se bave atletikom (*ATL*), prosječno izvodili vremenski najkraći zamah rukama (0,29s, ±0,03). Također rezultati *trajanja akceleracije zamaha rukama* (**AvtrZ**), ukazuju da se, istina najmanja, statistički značajna razlika, nalazi između ispitanika koji se bave atletikom (*ATL*), sportskom gimnastikom (*SPG*), (post-hoc Scheffé: t=0,03, p=0,029), dok dobivene razlike između drugih grupa nisu statistički značajne. Kako je *vrijeme trajanja akceleracije zamaha rukama* (**AvtrZ**) jedan dio vremena od ukupnog vremena *trajanja zamaha ruku* (**vtrZ**), iz rezultata (Tablica 6.11.), vidljivo je da je ispitanicima koji se bave atletikom (*ATL*), vrijeme akceleracije trajalo najkraće (0,29 s, ±0,03).

Upravo je zbog najmanje srednje vrijednosti mase ruku kao i najmanje srednje vrijednosti dužine ruke, ispitanicima koji se bave atletikom (*ATL*) bilo potrebno ukupno manje vrijeme trajanja zamaha rukama, te manje vrijeme trajanja akceleracije da bi postigli najveću brzinu zamaha (11,26 m.s-1, ±0,58). Ako tome pridodamo i činjenicu da je srednja vrijednost kuta u zglobu lakta u trenutku ostvarivanja maksimalne brzine zamaha, jedino kod atletičara (*ATL*) iznosila 115,68°, moguće je da je upravo to razlog zašto su baš ispitanici koji se bave atletikom ostvarivali najveće brzine zamaha ruku.

*Razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom rukama* (**RPZ**), u ovom mjerenju kriterijska varijabla, prikazuje statistički značajnu razliku između ispitanika koji se bave atletikom i ispitanika koji se bave odbojkom (*ODB*), (post-hoc Scheffé: t=690,94, p=0,028). Iz rezultata u tablici 6.12., vidljivo je da su ispitanici koji se bave atletikom (*ATL*) u prosjeku ostvarili najveću razliku u rasterećenju sile reakcije podloge (3387,60 N, ±1036,75), od ostalih ispitanika koji se bave odbojkom (*ODB*), (2696,66 N, ±1163,00) i sportskom gimnastikom (*SPG*), (2908,71 N, ±745,39).

Kako je prema izračunu regresijske analize (Tablica 6.6.), utvrđeno da upravo maksimalna brzina zamaha ima najveću povezanost sa kriterijskom varijablom, *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom rukama* (**RPZ**), jasno je da su ispitanici atletičari uslijed postizanja maksimalnih brzina zamaha imali najveće iznose rasterećenja podloge nakon izvršenog zamaha ruku. Između ispitanika sportske gimnastike i odbojke nije utvrđena statistički značajna razlika.

U skupini varijabli koje mjere morfologiju ispitanika, nalaze se *masa ruku* (**AVMR**), *masa šaka* (**AVMŠ**), *masa podlaktice* (**AVMP**), kao varijable u kojim je izračunata statistički značajna razlika između grupa ispitanika u ovisnosti o sportu kojim se pojedine skupine ispitanika bave, atletika (*ATL*), odbojka (*ODB*), i sportska gimnastika (*SPG*). Iz rezultata prikazanih u Tablici 6.11., vidljivo je da je kod ispitanika koji se bave odbojkom (*ODB*), u varijablama *masa šaka* (**AVMŠ**), i *masa podlaktica* (**AVMP**), utvrđena statistički značajna razlika u odnosu na druge dvije grupe ispitanika (*SPG* post-hoc Scheffé: t=0,10, p=0,002, (ATL post-hoc Scheffé: t=0,15, p=0,000). Prema tim rezultatima, srednja vrijednost *mase šaka* (**AVMŠ**) kod ispitanika odbojkaša je najveća i iznosi 1,19 kg, (±0,14). Dok je kod ispitanika koji se bave atletikom izmjerena najmanja masa šaka od sve tri grupe ispitanika i iznosi 1,04 (±0,09). Nadalje, i varijabla *mase podlaktica* (**AVMP**), kod ispitanika odbojkaša postiže najveće vrijednosti 2,56 kg, (±0,34), a vrijednost post-hoc Scheffé testa prema grupi sportskih gimnastičara (*SPG*) iznosi t=0,23, p=0,013, a prema grupi atletičara (*ATL*), vrijednost post-hoc Scheffé testa iznosila je t=0,23, p=0,016. Jedino je kod morfološke varijable *masa ruku* (**AVMR**), statistički značajna razlika utvrđena između ispitanika atletičara (*ATL*) i ispitanika odbojkaša (*ODB*), gdje je vrijednost post-hoc Scheffé testa iznosila t=-0,70, p˂0,001. Iz rezultata u Tablici 6.11., vidljivo je da je *masa ruku* (**AVMR**) ispitanika atletičara (*ATL*) najmanja (9,10 kg, ±0,70), u odnosu na ispitanike sportske gimnastičare (*SPG*, 9,54 kg, ±0,60), kao i na najveću masu kod ispitanika odbojkaša (*ODB*, 9,80 kg, ±0,78).

Iz rezultata „*backward*“ metode hijerarhijske analize (Tablica 6.6.), varijable koje u najvećem opsegu objašnjavaju kriterijsku varijablu, jesu upravo varijable *maksimalna brzina zamaha* (**VmaksZ**, *β*=0,49), slijedi *masa šaka* (**AVMŠ**, *β*=-0,44), potom *masa ruku* (**AVMR**, *β*=0,39), a na posljednjem mjestu je *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini* (**Ldeg**, *β*=-0,16).

Uspoređujući rezultate analize varijance (Tablica 6.10.), kao i provedenog *post-hoc Scheffé* testa, pomoću kojeg se testira statistička značajnost među parovima aritmetičkih sredina po pojedinim sportovima, vidljivo je da ispitanici koji se bavi atletikom (*ATL*), u sve četiri navedene prediktorske varijable imaju utvrđene statistički značajne razlike u usporedbi s ostale dvije grupe ispitanika.

Također ispitanici atletičari (*ATL*), imaju najmanje opterećenje ruku, te su na osnovu manjih masa ruku, a napose šaka kao krajnjeg segmenta ruke, najmanjeg kuta u zglobu lakta, koji iznosi u prosjeku 115,68° (±11,86), stvorili su veću mišićnu silu koja je ubrzala ruke na prosječno najveću izmjerenu brzinu zamaha (11,26 m.s-1, ±0,58).

Ovdje treba napomenuti da, iako je srednja vrijednost masa ruku kod ispitanika atletičara (*ATL*) najmanja (9,10 kg, ±0,70), izračunata srednja vrijednost dužine ruku također je najmanja (74,20 cm, ±4,09), te su, očito uz najbolji omjer biomehaničkih sastavnica koje sudjeluju u izvođenju zamaha rukama (dužina ruku, masa ruku, kut u zglobu lakta), ispitanici koji se bave atletikom (*ATL*) ostvarivali prosječno najveće razlike u rasterećenja podloge izmjerenoj pomoću sile reakcije podloge u mirovanju i nakon izvedenog zamaha ruku (Tablica 6.12.).

***Tablica 6.12.*** *Opisni rezultati provedene post-hoc Scheffé analize prema kriterijskoj varijabli po pojedinim sportovima (N=93)*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| kriterijska varijabla | *sport* | n | M | SD | min | max |
| RPZ | *SPG* | 30 | 2908,71 | ±745,40 | 1368,00 | 4411,00 |
| *ATL* | 30 | 3387,60 | ±1036,76 | 1299,00 | 5193,27 |
| *ODB* | 33 | 2696,67 | ±1163,00 | 973,00 | 5090,00 |

*legenda: sportska gimnastika (SPG), atletika (ATL), odbojka (ODB), broj ispitanika (n), srednja vrijednost (M), standardna devijacija (SD), minimalna vrijednost varijable (min), maksimalna vrijednost varijable (max).*

Na temelju rezultata analize varijance utvrđene su statistički značajne razlike u pojedinim varijablama (Tablica 6.10.), te se na osnovu *post-hoc Scheffé* testa, pomoću kojeg se testira statistička značajnost među parovima aritmetičkih sredina po pojedinim sportovima, utvrdila razlika među parovima ispitanika (Tablica 6.11.).

Može se potvrditi da u svim varijablama kod kojih prema provedenoj analizi varijance postoji statistički značajan *F*-omjer na razini p<0,05, odnosno dokazana je statistički značajna razlika između ispitanika koji su se bavili atletikom (*ATL*) i ostale dvije grupe ispitanika prema sportovima, odbojka (*ODB*) i sportska gimnastika (*SPG*).

Jedina dokazana razlika između grupa ispitanika koji se bave odbojkom i sportskom gimnastikom, izračunata je u dvije varijable koje mjere morfologiju tijela ispitanika i to za varijablu *mase šaka* (**AVMŠ**) i varijablu *masa podlaktica* (**AVMP**).

**7. ZAKLJUČAK**

Vrednovanje kinezioloških aktivnosti nedvojbeno zahtijeva poznavanje kako kinetičkih veličina koje daju podatke o silama koje su prisutne u ljudskom tijelu za vrijeme izvođenja aktivnosti, tako i kinematičkih parametara kojima se gibanja opisuju. Prema tome, u provođenju istraživanja kinezioloških aktivnosti poznavanje biomehaničkih veličina trebala bi dati odgovore na pitanja koja opisuju proučavana gibanja.

Kako su vertikalni skokovi pokreti koji zahtijevaju kompleksnu motoričku koordinaciju segmenata gornjeg i donjeg dijela tijela, mnoga prethodna istraživanja pojasnila su ulogu zamaha ruku u vertikalnom skoku, te razvoj eksplozivne snage tipa skočnosti (*Feltner i sur.,1999; Harman i sur.,1990; Lees i Barton,1996; Luhtanen i Komi, 1978; Shetty i Etnyre,1989*). Vertikalan skok, kao jedan od temeljnih obrazaca čovjekovog kretanja, također ima veliku povezanost sa zamahom rukama, koji i u ovom temeljnom motoričkom obrascu imaju zadaću u očuvanju ravnoteže te omogućavanju učinkovito izvođenja kretnji (*Hara i sur.,2006; Payne i sur.,1968; Shetty i Etnyre,1989*). Postoje brojna istraživanja, u kojima su razni autori pokušali objasniti kako se postiže maksimalna učinkovitost izvedbe vertikalnog skoka, i o kojim vanjskim i unutarnjim čimbenicima ovisi njegovo uspješno usvajanje i izvođenje. Brojni su autori pokušavali objasniti neuromišićnu podlogu kretnje, kao i prilagodbe koje se javljaju pri izvođenju vertikalnog skoka (*Payne i sur.,1968; Ae i Shibukawa,1980; Harman i sur.,1990; Lees i Barton,1996; Feltner i sur.,1999; Lees i sur.,2004;*), kada su proučavali kako je koordinirani zamah ruku u izvođenju vertikalnog skoka povezan s povećanjem iznosa vrijednosti maksimalnog dosega skoka u visinu.

Cilj ovog istraživanja bio je da se na osnovu skupine prediktorskih varijabli odredi povezanost rasterećenja podloge uslijed suručnog zamaha ruku u izoliranim uvjetima. Kako bi se utvrdila povezanost, u ovom je istraživanju primijenjen novokonstruirani mjerni protokol kao i novokonstruirani mjerni instrument koji je ispitanicima dozvoljavao mogućnost izvođenja maksimalnog zamaha ruku u izoliranim uvjetima. Na taj su način ispitanici izvodili zamah rukama istovjetan onome koji bi izvodili u svojoj ciljanoj kineziološkoj aktivnosti.

Kao mjera pouzdanosti testa izračunat je Cronbachov koeficijent pouzdanosti koji iznosi α =0,87, te označava visoku pouzdanost testa. Za izračun povezanosti prediktorskih i kriterijske varijable korištena je regresijska analiza uz izračun potrebnih parametara.

Kako bi se utvrdio redoslijed prediktorskih varijabli na kriterijsku varijablu, izračunata je hijerarhijska regresijska analiza „*backward*“ metodom, pri čemu je broj varijabli reduciran na tri statistički značajne, i jednu pridodanu varijablu koje su objasnile 29,6% varijance rezultata u kriterijskoj varijabli. Iz tih se rezultata može zaključiti da upravo prediktorska varijabla *maksimalna brzina zamaha* u najvećem postotku objašnjava kriterijsku varijablu (**VmaksZ**, *β*=0,49), potom slijede varijabla *masa šaka* (**AVMŠ**, *β*=-0,44), varijabla *masa ruku* (**AVMR**, *β*=0,39) i na posljednjem mjestu je pridodana varijabla *kut u zglobu lakta pri maksimalnoj brzini* (**Ldeg**, *β*=-0,16). Drugim riječima, veća brzina zamaha, veća masa ruke, ali manja masa šake kao krajnjeg segmenta ruke, uz kut u zglobu lakta koji je po iznosima od 120° do 150°, doprinijeti će većem rasterećenju podloge uslijed bržeg izvedenog suručnog zamaha rukama. Prema svemu do sada izrečenom, veće rasterećenje podloge dovodi do ostvarivanja viših vertikalnih skokova.

Korištenjem regresijske analize kao i interkorelacijske povezanosti mjerenih varijabli, odgovoreno je i na neke od postavljenih alternativnih hipoteza. U ovom je istraživanju vidljivo da su četiri kinematičke veličine dobivene hijerarhijskom analizom značajne i objašnjavaju 29,6% varijance rasterećenja podloge pri izvedbi suručnog zamaha ruku u izoliranim uvjetima. Time je djelomice potvrđena i prihvaćena alternativna hipoteza (***H1***) koja pretpostavlja da će korišteni kinematički parametri objasniti veći varijabilitet kriterijske varijable, *razlika u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom rukama* (**RPZ**),kao i alternativna hipoteza (***H2***) koja pretpostavlja da su *masa ruku* (**AVMR**) i njeni segmenti značajno povezani s rasterećenjem podloge nakon izvedenog zamaha ruku. Također na osnovu dobivenih rezultata prihvaćena je i alternativna hipoteza (***H3***), koja pretpostavlja da je *kut u zglobu lakta* (**Ldeg**), značajno povezan s *razlikom u izmjerenom rasterećenju podloge zamahom rukama* (**RPZ**).

Varijabla *put deceleracije* (**PD**), odnosno put koji prolazi zapešće šake, a koji je potreban da se postignuta maksimalna brzina zamaha svede na nulu (potpuno mirovanje) ima malu i neznačajnu povezanost s kriterijskom varijablom (*β=*0,11, p<0,65)., te se na osnovu tih rezultata u ovom istraživanju mora odbaciti alternativna hipoteza (***H4***). Također, zbog niske korelacije između kriterijske varijable razlika u izmjerenom *rasterećenju podloge zamahom ruku* (RPZ) i varijable *razlika između vertikalnog skoka sa i bez zamaha rukama* (**hdiffSKOK**), mora se odbaciti alternativna hipoteza (***H5***).

Ovo istraživanje dalo je bolji uvid u različitost biomehaničkih sastavnica koje su povezane s rasterećenjem podloge pri izvođenju vertikalnog skoka. Primjerice, zamah ruku koji dovodi do antefleksije zgloba ramena i opružanja ruku u zglobu lakta prilikom odraza, prema nekim istraživanjima povećava visinu odraza centra težišta tijela, što rezultira u većoj visini skoka.

Tako izveden zamah rukama povezan je s veličinom vertikalne komponente sile reakcije podloge i djeluje na povećanje propulzivnih impulsa sile koja djeluju na skakača. Upravo se i u ovom istraživanju pokazalo da je postizanje većih brzina zamaha rukama dovelo i do većeg rasterećenja podloge. Poznavanje mehanizma zamaha ruku, kinetičkih i kinematičkih parametara koji određuju uspješnost zamaha, nužno je za proces učenja i usavršavanja sportskih tehnika. Time se omogućuje bolji uvid u problematiku zamaha, a trenerima koji djeluju u različitim sportovima u kojima su zamasi ruku sastavni dio tehnike, pružaju informacije koje će im omogućiti kvalitetnije oblikovanje trenažnog procesa.

U svjetlu znanstvenog doprinosa ovo istraživanje je pokazalo na do sada ne utvrđenju činjenicu, a to je, da zamah ruku ima veliku ulogu u rasterećenju podloge. U ovom istraživanju dobiveno je maksimalno rasterećenje podloge od čak 5193,27N, a prosječno rasterećenje podloge iznosilo je 2987,96 N. Također se iz rezultata dobivenih istraživanjem uvidjelo da su načini izvedbe zamaha ruku, s različitim brzinama zamaha, akceleracije, odnosno deceleracije, kao i provedba zamaha s različitim kutovima u zglobu lakta, povezani s rasterećenjem podloge. I na kraju pokazalo se da su upravo brzina zamaha, kut u zglobu lakta kao i mase pojedinih dijelova segmenata šaka uvjeti koji određuju veličinu sile dobivene na platformi za mjerenje sile reakcije podloge pri različitim izvedbama suručnog zamaha ruku.

U praktičnom dijelu ovaj podatak trenerima bi svakako trebao pružiti smjernice planiranja i programiranja razvoja tehničkih sastavnica pravilne izvedbe zamaha ruku u kineziološkim aktivnostima u kojima je vertikalan skok jedan od prediktora postizanje vrhunskih rezultata. Konkretno u sva tri odabrana sporta kojim su se bavile pojedine skupine ispitanika, atletika, odbojka i sportska gimnastika, rasterećenje podloge, odnosno vertikalan skok je jedna od sastavnica uspjeha te bi treneri u želji usvajanja kvalitetne izvedbe vertikalnog skoka morali usvojiti zaključke istraživanja: postizanje većih brzina zamaha rukama, oko 11,00 m.s-1 uz zadržavanje kuta u zglobu lakta između 120° i 150°.

Iako su ovim istraživanjem dobiveni odgovori na neka pitanja koja se tiču razumijevanja biomehaničkih postavki izvođenja suručnog zamaha ruku, preostaje još dovoljno prostora za istraživanje. Kako bi se dobio bolji uvid u problematiku zamaha ruku u raznim oblicima kinezioloških aktivnosti, mjerenje bi se trebalo provoditi na način da se pokret snima pomoću 3D sistema. Također snimanje bi se trebalo provoditi pomoću digitalne kamere uz mogućnost velikih brzina snimanja i to ne manjih od 300 slika u sekundi. Naime, pri mjerenju je uvidom u video snimke utvrđeno da su brzine snimanja koje su bile manje od 300 slika u sekundi, po kvaliteti snimke i mogućnosti obrade bile neupotrebljive, te je uputno pri mjerenju ovakvog tipa aktivnosti u kojima dominira eksplozivna snaga, koristiti minimalno brzinu snimanja od 300 slika u sekundi.

Osim toga, korištenjem 3D sustava akvizicije podataka kao što je sistem „ELITE“ ili „APAS“ mogle bi biti izmjerene i poslije izračunate mjere akceleracije i deceleracije pojedinih segmenata tijela, te bi se u mjerenje mogle uvesti i nove varijable koje bi kvalitetnije opisale gibanje.

Svakako bi u slijedećim istraživanjima ovoga tipa, a sve zbog boljeg uvida u kvalitetu izvedbe pokreta i dobivanja kvalitetnih podataka koji opisuju gibanje, bilo potrebno izmjeriti i elektromiografiju dominantnih mišića ruku i ramenog pojasa. S metodološke strane, dužnost nam je upozoriti kako se u istraživanju ustanovilo da je posebno konstruirana sjedalica po svojim sastavnicama dovoljno čvrsta za korišteni uzorak ispitanika, no u opetovanim mjerenjima velikog broja ispitanika trebalo bi svakako iskonstruirati veću i robusniju sjedalicu, dostatnu za provedbu većeg broja mjerenja različitih skupina sportaša.

**8. LITERATURA**

1. Ae, M, i Shibukawa, K. (1980). ***A biomechanical analysis oft he segmental contribution to the take off oft he one-legged running jump for height.*** In H. Matsui and K. Kobayashi (eds), *Biomechanics VIII-B* (Champaing, IL: Human Kinetic Pubishers).
2. Aguado, X., Izquierdo, M., i Montesinos, J.L., (1997). ***Kinematic and kinetic factors related to the standing long jump performance***. *Journal of Human Movement Studies* 32, 157–169.
3. Antekolović, Lj., (2007). ***Povezanost kinematičkih parametara zaleta i odraza s efikasnošću skoka u dalj****.* (Doktorska disertacija). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
4. Aragon-Vargas, L.F., i Gross, M.M., (1997). ***Kinesiological Factors in Vertical Jump Performance: Differences Among Individuals***. *Journal of Applied Biomechanics, 13*(1), 24-44.
5. Ashby, B.M., i Heegaard, J.H., (2002). ***Role of arm motion in the standing long jump***. *Journal of Biomechanics*, 35, 1631-1637.
6. **Bobbert, M. F.,** (1990). ***Drop jumping as a training method for jumping ability.*** *Sports Medicine* **9**, 7-22.
7. Bobbert, M.F., Huijing, P.A., i van ingen Schenau, G.J., (1987). ***Drop jumping II: The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping.*** *Medicine and Science in Sports and Exercise,* 19, 339-346.
8. Bobbert, M.F., i Casius, L.J., (2005). ***Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development?*** *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 37, 440-446.
9. Bosco, C., i Komi, P.V., (1979). ***Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles.*** *European Journal of Applied Physiology,* 24, 21-32.
10. Carr, J.H. i Gentile, A.M., (1994). ***The effect of arm movement on the biomechanics of standing up***. *Human Movement Science*, 13, 175-193.
11. Cook, J.D., i Virji-Babul, N., (1995). ***Reprogramming of muscle activation patterns at the wrist in compensation for elbow reaction torques during planar two-joint movements.*** *Experimental Brain Research*, 106:305-319.
12. Cordova, M.L., i Armstrong, C.V., (1996). ***Reliability of ground reaction force during a vertical jump: implications for functional strenght assessment.*** *Journal Of Athletic Training,* Oct;31(4):342-5.
13. Dapena, J., Chung, C.S., (1988). ***Vertical and radial motions of the body during take-off phase of high jumping.*** *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 20, 290-302.
14. Dapena, J., (1993). ***Biomechanical studies in the high jump and implications for coaching.*** *Modern Athlete and Coach*, 31(4), 7-12.
15. Debicki, D.B., Watts, S., Gribble, P.L., Hore, L., (2010). ***A novel shoulder-elbow mechanism for increasing speed in a multijoint arm movement.*** *Experimental Brain Research*, 203:601-613.
16. De Koning, J.J., van Ingen Schenau, G.J., (1994). ***On the estimation of mechanical power in endurance sports.*** *Sport Science Review*, 3, 34-54.
17. Dizdar, D., (2006). ***Kvantitativne metode.*** Zagreb: „Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu“.
18. Dodig, M., (1994). ***Biomehanika čovječjeg tijela.*** Sveučilište u Rijeci, Rijeka
19. Dowling, J.J., i Vamos, L., (1993). ***Identification of Kinetic and Temporal Factors Related to Vertical Jump Performance.*** *Journal of Applied Biomechanics,* 9, 95-110.
20. Đurković, T., (2008). ***Razlike među skupinama odbojkaša u morfološkim, motoričkim i funkcionalnim obilježjima obzirom na kvalitetu, ekipni status i uloge u igri.*** Prijedlog projekta doktorske disertacije, Kineziološki fakultet, Zagreb
21. Elftman, H., (1939*).* ***The function of arms in walking.*** *Hum. Biol.* 11,529–535.
22. Feltner, M.E., Fraschetti, D.J., i Crisp, R.J., (1999). ***Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps.*** *Journal of Sports Sciences* 17, 449–466.
23. Feltner, M.E., Bishop, E.J., i Perez, C.M., (2004). ***Segmental and Kinetic Contributions in Vertical Jumps Performed With and Without an arm Swing.*** *Exercise & Sport*, 3, (75), 216-230.
24. Feltner, M.E., Fraschetti, D.J., Crisp, J.r., (1999). ***Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jump.*** *Journal of Sport Sciences*, 17, 449-466.
25. Fukashiro, S., i Komi, P.V., (1987). ***Joint moment and mechanical flow of the lover limb during vertical jump.*** *Journal of Sport Sport Medicine,* 8, 15-21.
26. Galloway, J.C., i Koshland, G.F., (2002). ***General coordination of shoulder, elbow and wrist dynamics during multijoint arm movements.*** *Experimental Brain Research*, 142:163-180.
27. Gregoire, L., Veeger, H.E., Huijing, P.A., i van Ingen Shenau, G.J., (1984). ***Rol of mono and biarticular muscles in explosive movements. Internacional*** *Journal of Sports Medicine,* 5, 301-305.
28. Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Hay, D.C., Fukashiro, S., (2008). ***A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in vertical jumping.*** *Human Movement Science*, 27, 636-648.
29. Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Fukashiro, S., (2006). ***The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping.*** *Journal of Biomechanics*, 39, 2503-2511.
30. Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Fukashiro, S., (2008). ***Effect of arm swing direction on forward and backward jump performance.*** *Journal of Biomechanics*, 41, 2806-2815.
31. Harman, E.A., Rosenstein, M.T., Frykman, P.N., Rosenstein, R.M., (1990). ***The effects of arms and countermovement on vertical jumping.*** *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 22, 825-833.
32. Hay, J.G., J. Dapena, B.D. Wilson, J.G. Andrews i Woodworth, G.G., (1978). ***An analysis of joint contributions to the performance of a gross motor skill.***  *Biomechanics VIb,* Eds. E. Asmussen and K. Jørgensen. University Park Press, Baltimore, 64-70, 1978.
33. Hay, J.G., i Reid, J.G., (1988). ***Anatomy, Mechanics and Human Motion.*** Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall.
34. Hay, J.G., Vaughan, C.L., i Woodworth, G. G. (1981). ***Techniques and performance: Identifying the limiting factors.*** *In Biomechanics VII B* (pp. 511-520). Baltimore, MD: University Park Press.
35. Herzog, W., (1986). ***Maintenance of body orientation in the flight phase of long jumping.*** *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18, 231–241.
36. Herzog, W., Hasler, E., i Abrahamse, S.K., (1991). ***A comparison of knee extensor strength curves obtained theoretically experimentally.*** *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 23, 108-104.
37. Hinrichs, R.N., (1985). ***Regression equations to predict segmental moments of inertia from anthropometric measurements: An extension of the data from Chandler et al. (1975).*** *Journal of Biomechanics,* 18(8):621-24.
38. Hinrichs, R.N., (1990). ***Adjustments to the segmnet center of mass proportions of Clauser et al.*** *Journal of Biomechanics,* 23(9):949-51.
39. Hollerbach, J.M., i Flash, T., (1982). ***Dynamic interactions between lamb segments during planar arm movement.*** *Biological Cybernetics* 44: 67-77.
40. Horita, T., Kitamura, K., Kohno, N., (1991). ***Body configuration and joint moment analysis during standing long jump in 6-yr-old children and adult males.*** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 1068–1077.
41. [Hunter, J.P](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Hunter%20JP%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11880813)., i [Marshall, R.N](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Marshall%20RN%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=11880813)., (2002). ***Effects of power and flexibility training on vertical jump technique.*** *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 34(3):478-486.
42. Izquierdo, M., Aguado, X., Ribas, T., Linares, F., Vila, L., Voces, J.A., Alvarez, A.I., i Prieto, J.G., (1998). ***Jumping performance, isometric force and muscle characteristics in non athletic young men.*** *Journal of Human Movement Studies,* 35, 101–117.
43. Ingen Schenau G.J. van, Bobbert, M.F., i Rozendal, R.H., (1987). ***The unique action of biarticular muscles in complex movements.*** *Journals of Anatomy*,155, 1-5.
44. Jarić, S., (1997). ***Biomehanika humane lokomocije sa biomehanikom sporta.*** Beograd: “DOSIJE“.
45. Jensen, J.L., Phillips, S.J. i Clarc, J.E., (1994). ***For young jumpers, differences are in the movements control, not its coordination.*** *Research Quarterly for Exercise and Sport, 65(3),* 258-268.
46. Kasović, M., Mrđen, I., i Mejovšek, M., (2009). ***Biomehanika normalnog hoda.*** Prvi kongres Studija fizioterapije Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu s međunarodnim sudjelovanjem, ***Fizioterapija - vještina i kreativnost,*** Zadar, Hrvatska.
47. Khalid, W., Amin, M., i Bober, T., (1989). ***The influence of upper extremities movement on take-off in vertical jump.*** In *Biomechanisc in Sport V* (edited by L. Tsarouchas, J. Teradus, B. Gowitzke and L. Holt), pp. 375-379. Athens:Hellenic Sports Research Institute.
48. Keros, P., i Ćurković, B., (2002). ***Križobolja.*** Zagreb: “Naklada Ljevak”.
49. Kolesarić, V., Petz, B., (1999). ***Statistički rječnik.***Jastrebarsko: “Naklada Slap”.
50. Lulić Jurčević, T., Sušić, A., i Kodvanj, J., (2008). ***Effects of Arm Swing on Mechanical Parameters of Human Gait.*** *Collegium Antropologicum 32(3), 869–873.*
51. Lees, A., Barton, G., (1996). ***The interpretation of relative momentum data to assess the contribution of the free limbs to the generation of vertical velocity in sports activities.*** *Journal of Sports Sciences,* 14, 503–511.
52. Lees, A., Vanrentergheim, J., De Clercq, D., (2004). ***Understanding how an arm swing enhances performance in the vertical jump.*** *Journal of Biomechanics*, 37, 1929-1940.
53. Luhtanen, P., i Komi, P.V., (1978). ***Segmental contribution to force in vertical jump.*** *European Journal of Applied Physiology*, 38, 181-188.
54. Luhtanen, P., i Komi, P.V., (1979). ***Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take off.*** *European Journal of Applied Physiology*, 41, 267-274.
55. Marković, M., Marković, G., i Metikoš, D., (2007). ***Visina vertikalnog skoka kao pokazatelj mišićne snage nogu nezavisne od veličine tijela.*** *Zbornik radova 16. ljetna škola kineziologa*, Poreč, 149-152, Hrvatski kineziološki savez.
56. Medved, V., i Kasović, M., (2007) ***Biomehanička analiza ljudskog kretanja u funkciji sportske traumatologije.*** *Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik,* 22:40-47.
57. Mejovšek, M., (1989). ***Konstrukcija i evaluacija biomehaničkog n-segmentalnog modela za analizu gibanja muskuloskeletnog sistema ljudskog tijela.*** (Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu.
58. Mišigoj-Duraković, M., (2008). ***Kinantropologija - biološki aspekti vježbanja.*** Kineziološki fakultet, Zagreb.
59. Newton, R.U., Kraemer, W.J,, Hakkinen, K., (1999). ***Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players.*** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:323-330.
60. Opavsky, P., (2004). ***Uvod u biomehaniku sporta.*** Beograd: „Vizartis“.
61. Pandy, M.G., i Zajac, F.E., (1991). ***Optimal muscular coordination strategies for jumping.*** *Journal of Biomechanics,* 24, 1-10.
62. Payne, A.H., Slater, W.J., Telford, T., (1968). ***The use of a force platform in the study of athletic activities.*** *Ergonomics*, 11, 123-143.
63. Ridderikhoff, A., Batelaan, J.H., i Bobbert, M.F., (1999). ***Jumping for distance: control of the external force in squat jumps.*** *Medicine and Science in Sport and Exercize,* 31(8), 1196-1204.
64. Riggs, M.P., Sheppard, J.M., (2009). ***The Relative Importance of Strength and Power Qualities to Vertical Jump Heigh of Elite Beach Volleyball Players During the Counter-Movement and Squat Jump.*** *Journal of Human Sport and Exercise*, 3, 221-236.
65. [Sayers, S.P](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Sayers%20SP%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=10211854)., [Harackiewicz, D.V](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Harackiewicz%20DV%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=10211854)., [Harman, E.A](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Harman%20EA%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=10211854)., [Frykman, P.N](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Frykman%20PN%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=10211854)., i [Rosenstein, M.T](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=Rosenstein%20MT%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=10211854)., (1999). ***Cross-validation of three jump power equations.*** *Medicine and Science in Sport and Exercize,* 31(4), 572-577.
66. Shetty, A.B., i Etnyre, B.R., (1989). ***Contribution of arm movement to the force components of a maximum vertical jump.*** *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy,* 11, 198–201.
67. Šadura, T., (1991). ***Gimnastika*.** Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
68. Šnajder, V., i Milanović D., (1991).***Atletika hodanja i trčanja*.** Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
69. Umberger, B., (*2008).* ***Effects of suppressing arm swing on kinematics, kinetics, and energetics of human walking.*** *Journal of Biomechanics, 41, 2575–2580.*
70. Vanezis, A., Lees, A., (2005). ***A biomechanical analysis of good and poor performers oft he vertical jump.*** *Ergonomics,* 48, 1594-1603.
71. Vanrenterghem, J., (2004). ***Movement adaptations of maximal and sub-maximal execution of vertical jump from stance.*** Universiteit Gent.
72. Zajac, F.E. i Gordon, M.E., (1989). ***Determining muscle's force and action in multi-articular movement.*** In: Pandolf, K. (ed.) *Exercise And Sport Sciences Reviews.* Baltimore: Williams & Wilkins, vol. 17: 187-230.
73. Whittle, M.W., (2002). ***Gait analysis: an introduction (third edition).*** Oxford: Butterworth-Heinemann.

**ELEKTRONIČKI IZVORI**

1. Fitness Testing /on line/. S mreže skinuto 18. ožujka 2012. s: <http://www.topendsports.com/testing/bosco-ergo-jump.htm>
2. 18 International Symposium on Biomechanics in Sports (2000) /on line/. S mreže skinuto 26. travnja 2012. s: <http://w4.ub.uni-konstanz.de/cpa/issue/view/ISBS2000>

**IZVORI SLIKA**

Slika 1. Evolucija hoda kod čovjeka. Keros, P., i sur., (2002).

Slika 2. Ljudske motoričke kretnje, Edweard Muybridge. <http://filmivko.files.wordpress.com/2010/04/muybridge1.jpg>. S mreže skinuto 25. travnja 2012.

Slika 3. Ljudske motoričke kretnje, Etienne-Jules Marey.

<http://homepages.rpi.edu/~ruiz/research/research2/MAREY_SUIT_2.gif>. S mreže skinuto 25. travnja 2012.

Slika 4. Anatomy, Mechanics and Human Motion. Hay, J.G., i Reid, J.G., (1988).