

**Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja
Univerziteta u Beogradu**

Saša B. Kostić

**Invarijantnost motornih obrazaca pri
bočnom volej udarcu u fudbalu**
(doktorska disertacija)

Beograd, 2012

Dana godine na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, **Mr Saša Kostić** je odbranio doktorsku disertaciju pod naslovom „**Invarijantnost motornih obrazaca pri bočnom volej udarcu u fudbalu**“ pred komisijom ispitivača:

Mentor:

.....

Redovni profesor dr Duško Ilić, FSFV Beograd

Članovi komisije:

.....

Vanredni profesor dr Aleksandar Janković, FSFV Beograd

.....

Vanredni profesor dr Slavko Molnar, FSFV Novi Sad

ZAHVALNOST

Kada se stigne na kraj puta kojim se ređe ide, važno je setiti se ličnosti i događaja kojim je taj put popločan. Odrastajući u istom dvorištu odakle su potekle fudbalske legende Dragan Džajić i Dušan Savić, od najranijih dana sam uz drugove i roditelje sportiste, bio okružen sportom i sportistima – najviše fudbalerima. Kasnije, kroz sportsku, pedagošku i naučnu karijeru to okruženje se širilo, ali je interesovanje ostalo isto – fudbal. Već tada je bilo jasno da to postaje trajna i neraskidiva veza, i iz tih razloga ovu disertaciju velikim delom posvećujem onima koji su na bilo koji način vezani za fudbal.

Najveću zahvalnost osećam prema svom mentoru dr. Dušku Iliću, redovnom profesoru Univerziteta u Beogradu, koji je u svakom trenutku pokazao strpljenje i sistematičnost tokom naših konsultacija, pružao konstruktivne savete i najiskrenije uticao da se izradi ovakva disertacija na osnovama savremenih sportskih nauka. Tako iskazan odnos smatram velikom ličnom privilegijom.

Mr. Vladimiru Mrdakoviću, asistentu na katedri za biomehaniku i motornu kontrolu Fakulteta za sport i fizičko vaspitanje u Beogradu, izražavam veliku zahvalnost za izdvojeno vreme i najiskreniju i studioznu saradnju što je doprinelo kvalitetu disertacije. Njegovo ogromno angažovanje i prisustvo tokom kompleksnih eksperimentalnih procedura, rukovanje kinematičkim sistemom i kasnija pomoć pri obradi podataka, maksimalno je doprinela da ovako veliki i složen posao bude urađen na zavidnom nivou.

Dr. Aleksandru Jankoviću, vanrednom profesoru Univerziteta u Beogradu, zahvaljujem se za savete, pregled i ocenu doktorske disertacije.

Dr. Slavku Molnaru, vanrednom profesoru Univerziteta u Novom Sadu, zahvaljujem se za sugestije, pregled i ocenu doktorske disertacije.

Dr. Nenadu Jankoviću, docentu Univerziteta u Beogradu, zahvaljujem se za pomoć i podršku tokom izrade i odbrane disertacije.

Dr. Voji Milosavljeviću, profesoru Akademije za fudbal u Beogradu, zahvaljujem se jer mi je pružao iskrenu i veliku podršku svih ovih godina, a naročito u periodu krize i zamora tokom izrade disertacije.

Svim iskrenim kolegama iz Tehničke škole „Ub“, a posebno direktoru Zoranu Babiću zahvaljujem se za razumevanje i preuzimanje obaveza u nastavi, kao i tehničku pomoć pri izradi disertacije.

Posebnu zahvalnost izražavam profesionalnim fudbalerima zbog kojih su, i sa kojima su ovi eksperimenti izvršeni i koji su najozbiljnije prihvatili i aktivno učestvovali u ovim istraživanjima: Nemanji Matiću, Milošu Obradoviću, Urošu Matiću, Đorđu Rakiću, Radetu Novkoviću, Milošu Žeravici, Dejanu Ognjanoviću, Marku Adamoviću, Ivanu Stankoviću, Nenadu Stojanoviću i drugima. Svojom ozbiljnošću i angažovanjem maksimalno su doprineli kvalitetu disertacije.

Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, zahvaljujem se za korišćenje 3D infra – crvenog sistema QUALISYS, kao i za korišćenje sportske hale fakulteta. Mr Bojanu Leontijeviću za pruženu pomoć u obezbeđivanju termina u hali, a posebno studentima Filipu Kukiću i Nemanji Todoroviću kao i učeniku Borisu Radojičiću i svim ostalima koji su učestvujući snimali izvođenje bočnih voleja, rukovali kinematičkim sistemom, pomogli u obradi podataka i filtraciji signala, kako bi se ovako složen posao doveo do kraja.

Sestri Mirjani, profesoru srpskog jezika i književnosti, zahvaljujem se za pomoć i lektorsku obradu disertacije, a kumu Zoranu Džajiću na stalnoj i iskrenoj podršci tokom izrade disertacije.

Na kraju, nemoguće je ne pomenuti one koji nisu učestvovali aktivno u izradi disertacije, ali bez kojih ona ne bi bila izrađena, a to je porodica koja je uvek bila moj oslonac i koja me je trpela i istrpela svih ovih godina.

AUTOR

REZIME

Predmet ove studije je stepen uspešnosti izvođenja bočnog volej udarca u fudbalu u odnosu na kinematiku lopte i mehaničke uslove izvođenja pokreta. Studija je izrađena sa ciljem da se kod vrhunskih fudbalera odredi, iz aspekta razmene brzine i preciznosti, šema optimizovanja kretanja po kriterijumu efikasnosti i ekonomičnosti bočnog volej udarca. Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 30 ispitanika – profesionalnih fudbalera koji su članovi nacionalne selekcije Srbije, i koji nastupaju u inostranim klubovima (FC Chelsea, FC Benfica, FC Genk, FC München 1860, FC Leiria, FC Košice, FC Luch – Energia, FC London City) i Super lige Srbije (FK Crvena zvezda, FK Partizan, FK OFK Beograd). Ispitanici su imali zadatak da izvedu bočni volej udarac gađajući gol loptom koja im je dolazila u tri visine i tri brzine. Uzorak varijabli se sastojao iz dve kriterijumske (brzina i visina lopte) i 25 prediktorskih varijabli. Merenje kinematskih varijabli je izvršeno u hali Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja pomoću 3D infra-crvenog sistema QUALISYS. Dobijeni podaci su obrađeni deskriptivnom i komparativnom statistikom.

Utvrđena su dva načina izvođenja bočnog volej udarca u odnosu na brzinu i visinu lopte. Za visoke i brze lopte pokret se izvodi „zamrznutom“ pozicijom segmenata kinetičkog lanca, tj. koristi se relativno simultana kinematička šema. Za niske i spore lopte koristi se otvorena kinematička šema („bič“). Utvrđeno je postojanje promena u kinematičkoj adaptaciji lokomotornog aparata na različite mehaničke uslove izvođenja pokreta bočnog volej udarca. Povećanjem brzine dolazeće lopte povećava se brzina realizacije pokreta i skraćuje egzekutivna faza po trajanju. Dobijeni rezultati ukazuju da se po principu Bernštajnovih sinergija slaganje brzina pojedinačnih segmenata odvija na različit način u odnosu na zadatu brzinu lopte. Potvrđena je generalna teorija upravljanja brzim pokretima u delu koji ukazuje da se fudbaler iz aspekta vizuelne percepcije najmanje adaptira na prebrze i prespore lopte. Postoji direktan uticaj brzine i visine lopte na održanje dinamičke stabilnosti sistema. Postoji sličan način upravljanja pokretom za niske i srednje lopte kada je u pitanju kontrola trajanja. Pronađeno je postojanje kvalitativno različitih programa za ubrzavanje natkolenice u zglobu kuka za spore, umerene i brze lopte. Susedni delovi tela utiču na ravnotežu i stabilnost i moraju biti u odnosu na brzinu precizno pozicionirani. Postoji uticaj brzine lopte na usporenja sistema u ugaonj brzini između osa rame – kuk i kuk – peta. Povećanjem brzine lopte povećava se maksimalno ubrzanje stopala, tj. fudbaler mora da poveća maksimalno ostvareno ubrzanje zarad stabilnosti sistema u neposrednom kontaktu sa loptom. Zaključeno je da je potrebno praćenje kinematičkih i drugih parametara za uspešno učenje, usavršavanje i kontrolu izvođenja tehnike bočnog volej udarca. Na taj način, uz primenu u svakodnevnoj fudbalskoj praksi najpreciznije se uočavaju i ispravljaju greške u tehnici izvođenja bočnog volej udarca, i time se direktno vrši uticaj na brzinu realizovanja fudbalske igre.

Ključne reči: bočni volej, fudbaler, kinematička šema, biomehaničke varijable

UNIVERSITY OF BELGRADE

Faculty of sport and physical education

Sasa B. Kostic

**Invariance of motor patterns in
side-volleyed kick in football**
(Doctoral Dissertation)

Belgrade, 2012

SUMMARY

The subject of this study is the degree of success of performing a side kick volley in football compared to the kinematics of the ball and the mechanical conditions of the movement performance. The study has been aimed in order to determine (define), from the aspect of the speed exchange rate and accuracy, the pattern of the optimizing the movement on the criterion of the side kick volley efficiency in the professional football players. The research has been conducted on 30 (thirty) subjects – the professional football players who are the members of the Serbian national team and who play in the foreign clubs (FC Chelsea, FC Benfica, FC Genk, FC München 1860, FC Leiria, FC Kosice, FC Luch – Energia, FC London City) and the members of the Serbian Super League (FC Crvena Zvezda, FC Partizan, FC OFK Beograd). The respondents were asked to perform the side kick volley goal by hitting the ball coming in three (3) heights and three (3) speeds. The sample of the variables consisted of two (2) criteria (the speed and the height of the ball) and 25 predictor variables. The measurement of the kinematic variables has been carried out in the hall of the Faculty of Sport and Physical Education with the 3D infra – red system QUALISYS. The gathered data have been analysed by the descriptive and comparative statistics.

Two ways of performing the side kick volley in terms of the speed and the height of the ball have been given. For the high and fast balls the movement is being performed in the frozen position of the kinetic chain segments, i. e. the relatively simultaneous kinematic scheme is being used. For the low and slow balls the open kinematic scheme (“whip”) is being used. The existence of the changes in kinematic adaptation of the locomotor system to different mechanic conditions when performing the side volley shot has been identified. With (by) the increase of the coming ball speed, the speed of the realization of the movement is being increased and the lasting of the executive phase is being reduced. The results indicate that, by the principle of Bernstein’s synergies, the matching of the speeds of the individual segments has been performed in a way different from the given speed of the ball. The general theory of the fast movement control, in the section indicating that the football player, from the aspect of visual perception adapts the least to the balls coming too fast or too slow, has been confirmed. There is a direct effect of the speed and height of the ball on the maintenance of the dynamic stability of the system. There is a similar way of managing the movement for the low and medium balls considering the control of the lasting period. The existence of the qualitatively different programmes for accelerating the thigh at the hip joint for the slow, moderate and fast balls, has been found. The surrounding parts of the body affect the balance and the stability and they have to be precisely positioned in relation to the speed. There is the effect of the speed of the ball on the speed reduction of the system in the angular velocity between the axis shoulder – hip and hip – heel. With the increasing of the speed of the ball the maximum acceleration of the speed of the foot has been increased, i. e. the football player has to increase the maximum acceleration achieved in order to gain the stability of the system in the direct contact with the ball. It has been concluded that the monitoring of the kinematic and the other parameters for the successful learning, improvement and the control of the side kick volley technique is necessary. Thus, through the application in everyday football practice, the mistakes in the technique of the side kick volley are being the most precisely identified and corrected and thus the influence on the speed of the realization of the football game is being directly carried out.

Key words: side volley, football players, kinematic scheme, biomechanical variables.

SKRAĆENICE

CNS – centralni nervni sistem

D- dužina pokreta

2D – dvodimenzionalni

3D – trodimenzionalni

EMG – elektromiografija

GMP – generalizovani motorni program

IR – infra crveno (*eng.* infrared)

IT – impulsna teorija

MT – trajanje pokreta

TRP – teorija ravnotežnog položaja

TT – težište tela

QTM – qualisys track manager software

AngKOL_tk – Ugao u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom

AngKOL_min - Minimalni ugao u zglobu kolena tokom faze zamaha

AngKOL_max - Maksimalni ostvareni ugao u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca

AngKUK_tk - Ugao u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom

TKUK_max_kont - Vreme proteklo od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom

WKOL_tk - Ugaona brzina u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom

WKOL_max - Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca

TwKOL_max_tk - Vreme proteklo od trenutka ostvarivanja maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom

WKUK_tk - Ugaona brzina u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom

WKUK_max - Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kuka pri izvođenju bočnog volej udarca

TwKUK_max_tk - Vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom

Dkukpeta_tk – Distanca između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom

AngRKP_tk - Ugao koje zaklapaju ose rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom

WRKP_tk - Ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom

WRKP_max - Maksimalno ostvarena ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta pri izvođenju bočnog volej udarca

VelKUK_max - Maksimalno ostvarena brzina centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca

VelKUK_tk - Brzina centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom

T_velKUK_max_tk - Vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom

VelKOL_tk - Brzina centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom

T_velKOL_max_tk - Vremenski period protekao od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom

AccKUK_max - Maksimalno ostvareno ubrzanje centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca

Acc_STO_tk - Ubrzanje stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom

Acc_STO_max – Maksimalno ostvareno ubrzanje stopala pri izvođenju bočnog volej udarca

Vel_STOP_tk - Brzina stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom

Vel_STOP_max - Maksimalno ostvarena brzina stopala pri izvođenju bočnog volej udarca

SADRŽAJ

1. UVOD.....	8
1.1. PRILOG BIOMEHANIČKIH ANALIZA U KVANTIFIKACIJI ELEMENATA FUDBALSKE IGRE	8
1.2. GENERALNI PRISTUP MOTORNE KONTROLE U FUDBALSKOJ ANALIZI.....	9
1.3. PRILOG MOTORNOM UČENJA U ANALIZI FUDBALSKE IGRE	10
2. TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA	12
2.1. KINEMATIČKA STRUKTURA POKRETA – ŠEME POKRETA	12
2.1.1. <i>Motorne šeme</i>	12
2.1.2. <i>Učenje šema pokreta</i>	14
2.1.3. <i>Slaganje brzina i kinematičke šeme složenih pokreta</i>	15
2.1.4. <i>Osnovne kinematičke šeme složenih pokreta</i>	17
2.1.5. <i>Simultana kinematička šema - prostorna tačnost i delovanje velikom silom</i>	19
2.1.6. <i>Mehanizam relativnog tajminga (Relative Timing)</i>	21
2.2. TEORIJA RAVNOTEŽNOG POLOŽAJA I IMPULSNA TEORIJA	23
2.3. UVOĐENJE INVERZNE DINAMIKE U CILJU SPROVOĐENJA NEPOSREDNE KONTROLE VOLEJ UDARCA	25
2.4. PROSTORNA KONTROLA (SPATIAL CONTROL) PRI POKRETU BOČNOG VOLEJ UDARCA.....	26
2.4.1. <i>Osnovne zakonitosti razmene tačnosti i brzine</i>	27
2.4.2. <i>Model varijabilnosti impulsa</i>	29
2.5. BIOMEHANIČKI OPIS BOČNOG VOLEJ UDARCA U FUDBALU	31
2.6. MEHANIKA KONTAKTA STOPALA I LOPTE	39
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	41
4. PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	51
5. HIPOTEZE	52
6. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA.....	52
6.1. METODE, TEHNIKE, TOK I POSTUPCI ISTRAŽIVANJA.....	52
6.2. UZORAK ISPITANIKA	52
6.3. UZORAK VARIJABLI.....	53
6.4. PROTOKOL EKSPERIMENTA.....	55
6.5. NAČIN MERENJA.....	56
7. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA	63
8. INTERPRETACIJA I DISKUSIJA REZULTATA	64
8.1. UTICAJ FAKTORA BRZINE I VISINE LOPTE NA ZAVISNE KINEMATIČKE VARIJABLE KOD IZVOĐENJA BOČNOG VOLEJ UDARCA (MANOVA).....	64
8.2. KINEMATIKA BOČNOG VOLEJ UDARCA.....	141
9. ZAKLJUČCI.....	148
10. PRAKTIČNE IMPLIKACIJE	151
11. LITERATURA	153
12. PRILOZI	

1. UVOD

1.1. Prilog biomehaničkih analiza u kvantifikaciji elemenata fudbalske igre

Fudbal pripada grupi kompleksnih sportova, koji ređe čine elementi jednostavnih i većinom elementi složenih kretanja, a izvode se u uslovima saradnje članova tima u igri. Pokreti u fudbalu su u vezi sa prirodnim pokretima, koji imaju i svoju specifičnost uslovljenu fudbalskom igrom.

Teoretska razmatranja u fudbalu dopunjena su razvojem nauke, kojom su odbačene, potvrđene ili unapređene teorijske pretpostavke. Razvoj fudbala je, u velikoj meri povezan, sa kvalitetom naučno-istraživačkog rada. Ako se razmotre osnovni problemi koje postavlja praksa u svim oblastima fudbala, lako je uočiti da se najveći deo tih problema može svrstati u nekoliko velikih kategorija: strukturalna biomehanička analiza, funkcionalna analiza, analiza zakonitosti, pravila i principi pri izradi trenažnog plana i programa, analiza metodoloških postupaka i metodskih sredstava prilagođenih za praćenje i kontrolu efekata treninga i sl.

U fudbalu postoji veliki broj istraživačkih radova koji se odnose na biomehaničke performance u igri, ali nedovoljna su naučna istraživanja koja se odnose na tehnička ispoljavanja, kao i na efikasna usvajanja specifičnih fudbalskih veština, kako iz aspekta ekonomičnosti, tako i iz aspekta efikasnosti.

Biomehanička analiza tehnike primenjuje se u svakoj sportskoj grani u cilju definisanja biomehaničkih karakteristika specifičnih veština, otkrivanja i razumevanja efikasnosti izvođenja i identifikovanja značajnih faktora uspešnosti. Kada je reč o fudbalu, pomenute analize se koriste da definišu karakteristike fudbalske efikasnosti, da pruže bliži uvid u mehaničku efikasnost pokreta, kao i da izdvoje faktore od kojih zavisi uspešno izvođenje određenih fudbalskih elemenata. Ova saznanja i njihovo razumevanje pomažu u povećanju kvaliteta obučavanja fudbalera.

Biomehanička merenja imaju veoma bitnu ulogu u razvoju tehnike i upravljanju trenažnim procesom. Posebno je važna biomehanička analiza koja podrazumeva određivanje osnovnih kinematičkih i kinetičkih parametara kretanja, jer se male razlike u izvođenju motoričkih stereotipa ne mogu dovoljno egzaktno utvrditi vizuelnim posmatranjem

stručnjaka. Zbog toga se sprovodi analiza prostornih, vremenskih i prostorno-vremenskih činilaca kretanja, kao i dinamometrijska analiza sila koje se razvijaju u mišićima i mišićnim grupama tokom izvođenja motoričke aktivnosti. Biomehaničko merenje, osim objektivnosti i velike osetljivosti pri prikupljanju podataka, omogućava i preciznu kvantitativnu analizu koja je u svetu standard za programiranje i kontrolu procesa treninga. Takva analiza daje uvid u nivo izvođenja tehnike i omogućava njeno praćenje tokom treninga, izboru i modelovanju metodskih postupaka. Za celokupnu dijagnostiku tehnike kretanja i usvojenost motoričkog znanja, posebno je interesantno poznavanje varijabli, pri čemu se na vrlo jednostavan način mogu utvrditi odstupanja izvođenja nekog pokreta u odnosu na model izvođenja tog pokreta. To je važno zato što se i jedno i drugo izvođenje mogu opisati istim vrednosnim sastavom biomehaničkih veličina. Tako se dobijaju podaci koji se mogu upoređivati, a odnose se na razlike u uglovnim vrednostima, u pokazateljima brzine i ubrzanja, kao i drugim biomehaničkim veličinama pokreta koje izvodi ispitanik – fudbaler.

1.2. Generalni pristup motorne kontrole u fudbalskoj analizi

Pokreti ostvareni u sportu, a pogotovo u fudbalu, zahtevaju visok stepen efikasnosti i teže što većoj sinhronizaciji i automatizaciji, tj. što višem stepenu optimizacije. Obično su ti pokreti do izvesnog stepena uvežbani za izvršenje odgovarajućeg motornog zadatka, ali pravi način dolaska do potrebnog nivoa motorne sposobnosti i danas je značajan istraživački problem. Suštinsko pitanje na koje je potrebno dati odgovor u istraživanjima u fudbalu glasi: Kako fudbaler upravlja pokretima, uzimajući pri tome u obzir i njihove specifične mehaničke uslove izvođenja, cilj pokreta i dr.? Ovaj važan problem interakcije upravljačkog sistema (centralni nervni sistem-CNS) i sistema kojim se upravlja lokomotorni aparat, istražuje se putem motorne kontrole. U fudbalu, iz aspekta biomehanike humane lokomocije, motorna kontrola predstavlja njenu nadgradnju, jer se problem lokomocije proširuje sa lokomotornog aparata na nervni sistem i u njihovoj interakciji istražuje kretanja čoveka.

Analiza pokreta u fudbalu je donedavno imala pretežno deskriptivni karakter. Pokreti su posmatrani na nivou motornog ponašanja preko njihovih integralnih delova ili motorne veštine u celini. Ovako jednostranim pristupom, u čijoj osnovi leži kvazibiološko i mehaničko posmatranje bioloških sistema, zapostavljeni su unutrašnji procesi u organizmu kao i uloga

CNS-a. Rešavanje tog problema počelo je uvođenjem motorne kontrole kao zasebne istraživačke discipline. Svi problemi u vezi sa pokretom (koordinacija i optimizacija pokreta, njihova efikasnost, motorno učenje i dr.) zajednički su problemi motorne kontrole i teorije i prakse fizičke kulture i sporta. Danas su značajni radovi iz oblasti motorne kontrole, koji se bave motornim učenjem, koji se sve češće sprovode u fudbalu. Koliki je značaj motornog učenja uočavamo, ako znamo, da ono predstavlja inherentan proces u upravljanju pokretom. Upoznavanje elemenata programa upravljanja pokretima i motornog učenja, iz aspekta primenjene biomehanike u fudbalu, iniciralo je ispitivanje kinematike pokreta s jedne, i dinamičke lokomotornog aparata s druge strane.

Gore navedeno je deo problematike koja se manifestuje u kretanju i tretiramo je kao posledicu tog kretanja. Za razliku od toga, uzročnici tog kretanja, tj. oni koji ga generišu, u velikoj meri zavise od motorne memorije. Uloga motorne memorije, kao i proces učenja u studijama motorne kontrole ne mogu se zapostaviti. Ono što je naučeno, trebalo bi da bude usklađeno sa vrstama pokreta koji mogu da se izvedu. Razumevanje uloge učenja u motornoj aktivnosti doprinelo bi rešavanju niza otvorenih problema u metodici usvajanja i stabilizovanja fudbalskih motornih veština (Hollerbach et al. 1982; Rosenbaum 1987; Schmidt 1988). Analizom pokreta bočnog volej udarca identifikovaće se problemi iz aspekta koordinacije, optimizacije, efikasnosti motornog učenja ovog udarca. Prethodni aspekti zahtevaju visok nivo tehničkog izvođenja bočnog volej udarca uključujući odgovarajuće metode učenja, čija je važna komponenta transfer motornog učenja.

1.3. Prilog motornog učenja u analizi fudbalske igre

Jedan od značajnijih istraživačkih zadataka je rešavanje problema transfera motornog učenja, zbog toga što ono obuhvata situacije u kojima je problem učenika „kako to učiti” veći nego „šta učiti”. Rešavanjem problema u ovoj oblasti možemo unaprediti metodiku fizičke kulture i sporta (fudbala), koja se i danas, u nedovoljnoj meri, bazira na osnovnim principima biomehanike i motorne kontrole.

Kompleksnom sportu, kakav je fudbal, neophodan je kvalitetan i planski pristup trenažnom procesu. Sve tehnike izolovano moraju biti stabilne po strukturi, a to se postiže stabilnim motornim programom. Vrhunski fudbaleri postižu rezultate određenim trenažnim

radom kroz sistematske procedure ponavljanja, u cilju stabilnog struktuiranja programa pokreta.

Prema aktuelnim teorijama, **motorni program** predstavlja jedno od prihvaćenih mišljenja da je veliki broj različitih pokreta kontrolisan procesom otvorene petlje sa centralno „uskладиštenom strukturom” - motornim programom odgovornim za trajanje („tajming”) i koordinaciju mišićnih aktivnosti potrebnih za efikasno izvođenje pokreta (Ilić prema Rosenbaum, Schmidt, 1990).

Pod **motornim programom** se podrazumeva grupa simultanih i sukcesivnih komandi mišićima da započnu, a zatim završe željeni pokret. Priroda programa zavisi od nivoa njegovog posmatranja (Latash, 1994). Na nivou CNS-a i kičmene moždine, motorni program predstavljaju grupe eferentnih signala, koji se duž motornih nerava kreću ka mišićima. Na mišićnom nivou motorni program predstavlja vremenska šema mišićne ekscitacije, dok je na nivou pokreta to njegova kinematička slika (Gottlieb i sar. 1989; Ilić i sar. 1992).

Bez obzira na nivo na kome je posmatran, motorni program zavisi od varijabli zadataka (zadato trajanje, želje ili instrukcije da pokret bude izveden određenom brzinom, tačnošću, za određeno vreme, duž definisane trajektorije, određenom sekvencom itd.) i varijabli izvođenja (mehanički uslovi izvođenja kao što su dužina pokreta, trajanje pokreta, brzina izvođenja, spoljašnje opterećenje i dr.).

U fudbalskoj igri većina pokreta ima relativno prepoznatljiv početak i kraj pokreta. U skladu sa tim, izdvojila se i tematika terminalnih pokreta. **Terminalni pokret** predstavlja pokret u kojem je zadat i početni i krajnji položaj pokreta i on predstavlja najčešći motorni zadatak čoveka. Ako su oni izvođeni umereno brzo, govori se o brzim terminalnim pokretima. Ako su izvođeni maksimalnim brzinama, tada se govori o najbržim terminalnim pokretima (Ilić, 1999).

U vezi sa tim, tema ovog istraživanja je **bočni volej udarac** koji pripada području individualne tehnike sa loptom. Koristi se kao završni element realizacije u igri napadača, kao i u odbrani prilikom izbijanja lopte, a moguća je njegova primena u tranziciji prilikom prenosa lopte. Udarci volej tehnikom predstavljaju snažnu i preciznu vrstu udaraca, i kao takvi stvaraju probleme protivničkim igračima.

Vrednost rezultata istraživanja iz oblasti fudbalske tehnike, tj. volej udarca po lopti, uočavamo u iznalaženju najoptimalnijih i adekvatnih metodskih postupaka prilikom obuke, treninga i usavršavanja ovog elementa fudbalske igre. Značaj ovog istraživanja uočićemo ka-

da na osnovu dobijenih rezultata saznamo, u kojoj meri će oni pomoći teoriji i praksi fudbala. Takođe, ovo istraživanje je urađeno s ciljem upotpunjavanja radova i podataka o upravljanju i kontroli pokreta bočnog volej udarca.

Ako uočimo da u današnjim uslovima fudbalske igre, varijable prostor-vreme, predstavljaju ogromnu prednost, onda izvođenje pokreta u vazduhu (kakav je bočni volej udarac) tretiramo kao prednost. Takođe, usled veoma kratkog vremena za izvođenje, (0,1s) bočni volej udarci u sistematizaciji fudbalske tehnike, tj. udarcima po lopti, treba da zauzimaju značajno mesto, čime je njihov opstanak obezbeđen. Za visok nivo tehničkog izvođenja bočnog volej udarca potrebno je da se identifikuju elementi programa koji doprinose uspešnom izvođenju ovog udarca. Bočni volej udarac uglavnom se ne izvodi u istim uslovima. Iz tih razloga potrebno je otkriti šeme pokreta i način na koji fudbaler kontroliše ovaj pokret, kada se početni mehanički i time percepcijski uslovi menjaju.

2. TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA

2.1. Kinematička struktura pokreta – šeme pokreta

2.1.1. Motorne šeme

U toku fudbalske igre, bočni volej udarci se primenjuju u različitim uslovima. Njihova primena je složena, efikasna i atraktivna na svim delovima terena, pri različitim brzinama i visinama lopte i uz najčešće prisustvo protivničkih igrača. Dakle, prostorno-vremenski uslovi izvođenja ovog tehničkog elementa neprestano se menjaju. U takvim uslovima neophodno je otkriti elemente programa koji utiču na uspešno izvođenje ove varijante volej udarca. Velika je dilema da li nam za svaki promenjeni uslov treba različit program ili izvođenje voleja pri različitim uslovima uključuje isti program koji se samo sa nekim modalitetima razlikuje.

Pred istraživače ove teme postavlja se pitanje da li ideja motornog programiranja zahteva da svaki pokret ima poseban motorni program koji ga kontroliše? To je dovelo do problema lokacije programa. Iz toga se izdvaja konkretno pitanje: Kako bi se pokreti izvodili, ako se mehanički uslovi zadatka promene? Drugim rečima, koji su to elementi programa ko-

ji, naizgled, za veliku promenu u motornom zadatku relativno uspešno izvode pokret. Tako, u toku igre, svaki fudbaler na različit način kontroliše pokret bočnog volej udarca. Neko koristi nagib tela, neko visinu lopte ili brzinu lopte. Jedna od ideja je da se pokreti mogu pojednostaviti preko klase pokreta ili tzv. generalizovanih motornih programa. Usled visoke redundantnosti nervnog sistema, iz aspekta motornog programiranja, razvila se teorija generalizovanih motornih programa pod nazivom – „**motorne šeme**”. Prednost ove šeme ili generalizovanog motornog programa je u tome što se omogućava neprekidna promena u načinu izvođenja pokreta (Schmidt, 1990).

Umesto čuvanja, u memoriji svakog od niza pojedinačnih motornih programa, što bi pri kratkom vremenu za motorni zadatak bio neekonomičan pristup „tekuće tzv. uzastopne kontrole”, Bernštajn (1967) je predložio teorijski model po kome bi trebalo sačuvati samo jezgra programa ili relevantne potprograme generalizovanog programa. Položaj varijabli u programu omogućava da se oni određuju prema trenutnim zahtevima. Tako, pri izvođenju bočnog volej udarca, svaki igrač različito čuva jezgro programa. Neko čuva jezgro preko tajminga, neko preko položaja trupa, drugi čuvaju sličnu brzinu lopte ili početni ili završni položaj zamajne noge. Drugim rečima, ako je za određivanje posebne varijable potrebno vreme, ono se može menjati zavisno od redosleda pokreta u kom se element nalazi. Istraživanja Henrija i saradnika ukazuju da su izbori između mogućih nizova efikasniji kada se oni razlikuju prema vrednostima manjeg broja parametara. Varijable predstavljaju svojstva motornih programa, definisana na nivou CNS-a, sa visokim stepenom varijantnosti u odnosu na aktivne mišiće, segment ili kinetički lanac u pokretu. Tako, u ekstremno brzim i umereno brzim volejima, potrebno je naučiti fudbalera da mu centralne šeme pokreta, u vidu generalizovanog motornog programa, budu što manje varijabilne u odnosu na kinematiku pokreta.

Rezultati koji su predložili postojanje generalizovanog motornog programa pojavili su se u Amstrongovim eksperimentima (1971, prema Schmidt, 1990) u kojima su ispitanici učili kompleksne pokrete rukom. Amstrong je zapazio da, kada se pokret ubrza, ubrzava se kao jedinica, odnosno kao celina. Odnosi među realizovanim veličinama su ostali nepromenjeni. Kinematika pokreta se menja proporcionalno. Predloženo je da se pokret može predstaviti kao naročita vremenska struktura koja se može izvesti odabiranjem vrednosti brzine koja bi definisala vreme trajanja pokreta, dok bi unutrašnja struktura ostala nepromenjena. Smatra se, kada se vreme smanji, da se cela šema sužava, i obrnuto. Dok sa druge strane, kada se brzina lopte povećava, kinematske promene unutar prostornih varijabli programa su po apsolut-

nim vrednostima daleko manje. Uspešno izvođenje bočnog volej udarca zavisi od motornog programa koji se nadograđuje na osnovu prethodnih iskustava udaraca. Na osnovu informacija iz spoljne sredine i traga u memoriji, fudbaler kreira pokret bočnog voleja preko šema prisećanja i šema prepoznavanja.

2.1.2. Učenje šema pokreta

Među onima koje je zainteresovala teorija zatvorene petlje kao prve savremene teorije motornog učenja bio je i **Šmit (Schmidt 1975)**. Proučavajući Adamsovu teoriju, Šmit se suočio sa teškoćom objašnjenja kako se svaka predstava pokreta skladišti u memoriji, i kako se povezuje trag u memoriji sa svakim pokretom koji je ikada načinjen. U središtu Šmitovog pogleda o šemi je saznanje, tj. ideja o **generalizovnom motornom programu (GMP)**, struktuiranom sa nepromenljivim osobinama, sa varijablama koje su potrebne da specifikuju određen način na koji program radi u određenom trenutku. Kada se izabere GMP program i načini pokret, dodajući varijable, u kratkoročnoj memoriji je dostupno četiri tipa informacija:

- (1) uslovi okruženja kada pokret započinje (npr. položaj tela, temperatura);
- (2) određeni zahtevi pokreta (brzina, vreme u smislu neposrednog kontakta, prostor u smislu ostvarene amplitude, snaga);
- (3) rezultat pokreta i znanje o rezultatima (npr. upoređivanje konkretne greške u odnosu na željenu poziciju i vreme neposrednog kontakta); i
- (4) ekstero i interoceptivne informacije u vezi sa pokretom (npr. kako se pokret doživeo na nivou mišića i zglobova, kako je izgledao iz aspekta trajektorije pokreta, zvučao).

Ova četiri izvora informacija se čuvaju (samo) onoliko dugo koliko je potrebno izvođaču da izvede dve šeme. Ova izvedena pravila o tome kako su izvori informacija u međusobnoj vezi zovu se šeme **prisećanja i prepoznavanja**.

Šema prisećanja nudi varijable za određeni pokret i aktivira izvođenje usmereno ka cilju. Sa svakim pokretom, koristeći program, dobijaju se nove tačke i zapaža se nova veza. Posle svakog podešavanja, različit izvor informacija se izbacuje iz radne memorije, tako da

sve što ostaje od pokreta je pravilo, koje se zove **šema prisećanja**. Tako, kod pokreta bočnog volej udarca, neko je svestan nagiba tela, neko pozicije noge, neko brzine i visine lopte.

Čim je uopšteni program odabran i pokret izveden, koristi se **šema prepoznavanja** za procenu pokreta, i formira se i koristi na sličan način. Ovde se šema sastoji od veze između početnih uslova, okoline i senzorskih posledica. To znači da fudbaler pre pokreta kreira ceo program prema uslovima koje prepoznaje. Tada osoba proceni senzorsku posledicu koja će se desiti ako se uradi pokret. To se naziva očekivana senzorska konsekvencija, i služi kao osnova za procenu pokreta.

Pomoću dodatnog vežbanja i povratnih informacija, igrač može da usavrši izvedbe u raznim uslovima okruženja, koristeći grupisane informacije o tome da li su primljene informacije odgovarajuće ili neodgovarajuće.

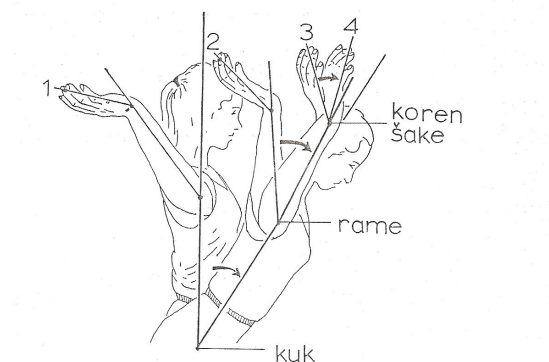
Motorni program se razvija iz svakog iskustva pojedinca koji ima sličnosti sa prethodnim iskustvima. Iskustva udarca po lopti grupišu se i formiraju u opšti motorni program za udarac po lopti koji se, kada se odabere da bi se zadovoljio cilj veštine, može brzo i lako modifikovati da bi se zadovoljili uslovi okruženja. Kada se sve takve reakcije povežu, razvija se naposljetku po istom principu, i šema volej udarca. Da bi bočni volej udarac bio efikasan, potrebna je velika brzina otvorenog kraja kinetičkog lanca (stopala) zamajne noge. Ovo se postiže slaganjem brzina u više zglobova, prema Bernštajnovom principu sinergije, vremenskim sledom započinjanja pokreta u zglobu kuka, zglobu kolena i naposljetku, u skočnom zglobu.

2.1.3. Slaganje brzina i kinematičke šeme složenih pokreta

Poznato je da u većini položaja tela fudbalera i njegovih uobičajenih kretanja, skeletni mišići deluju sa malim koeficijentima prenosa, odnosno, segmenti tela pokretani mišićima deluju kao poluge brzine. Ova pojava je objašnjena ograničenom brzinom skraćivanja mišića u odnosu na potrebnu i inače realnu brzinu osnovnih pokreta. Međutim, pokrete u fudbalu ne vrše pojedinačni segmenti, već kinetički lanci. Pošto oni sadrže veći broj zglobova, od znača-

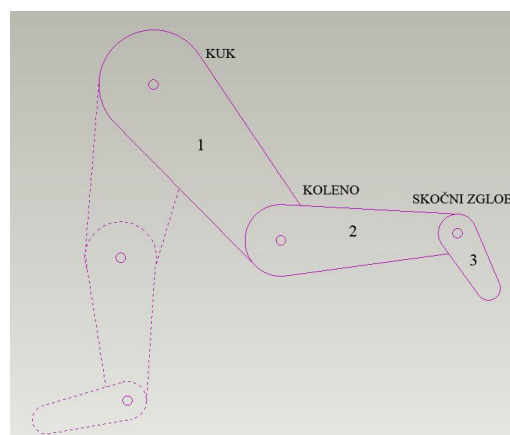
ja je da se shvati način na koji se pokreti u njima koordinišu, kao i posledice te koordinacije na brzinu otvorenog kraja kinetičkog lanca i/ili celog tela¹.

Prva posledica korišćenja većeg broja zglobova jednog kinetičkog lanca je povećanje brzine pokreta njegovog otvorenog kraja. Ova pojava može da se objasni jednostavnim primerom. Brzina šake (odnosno, predmeta koji šaka baca) je rezultat zbira brzine ramenog pojasa (postignute rotacijom u zglobu ramena), brzine distalnog kraja podlaktka (postignute rotacijom u zglobu lakta) i brzine šake (postignute rotacijom u zglobu korena šake). Na sličan način može da se opiše brzina težišta tela pri vertikalnom odskoku, pa čak i brzina težišta tela tokom perioda zadnjeg odupiranja pri trčanju. Ova pojava se naziva slaganjem brzina i definiše se kao koordinisanje pokreta u više susednih zglobova kinetičkog lanca u istom smeru, da bi se dobila veća brzina nekog segmenta kinetičkog lanca ili celog tela.



Slika 1.1

Slika 1.1. Prikaz slaganja brzina u više zglobova pri bacanju. Slika 1.2. Prikaz slaganja brzina u više zglobova pri udarcu nogom. Postignuta brzina distalnog kraja šake, odnosno stopala, rezultat je slaganja ugaonih brzina u zglobu kuka, ramena (kolena) i korena šake (skočnog zgloba).



Slika 1.2

Na ovaj način krajevi kinetičkih lanaca razvijaju znatno veće brzine od onih koje može da razvije bilo koji segment tela pojedinačno. Već je pokazano da je maksimalna brzina skraćanja dugih skeletnih mišića (koja se, inače, u realnom kretanju nikada ne postiže) - manja od 1 m/s. S druge strane, na primer, brzina šake pri zamahu ili udarcu dostiže 15 m/s, a brzina stopala zamajne noge sprintera ili šake bacača koplja u odnosu na tlo, daleko premašuje 20 m/s. Ova pojava može da se objasni samo slaganjem brzina postignutih u zglobovima dugih poluotvorenih kinetičkih lanaca. U prvom slučaju to je lanac od stopala oslonjenog na podlogu, preko karlice, do stopala zamajne noge, a u drugom, od istog stopala, preko trupa i

¹ Efekat slaganja brzina se ne posmatra izdvojeno već se posmatra kroz vezu sa razvijanjem sila protiv spoljnih opterećenja kao i sa tačnošću pokreta i sl.

ruke, do šake. Od značaja je, naravno, već pomenuta činjenica da su u većini slučajeva poluge lokomotornog aparata poluge brzine, pa se mala brzina mišićnog skraćanja preinačuje u višestruko veću brzinu distalnog kraja segmenta.

Do sada je bilo govora samo o kinematičkom principu na osnovu kojeg vršenje osnovnih pokreta u većem broju susednih zglobova rezultuje povećanjem brzine pokreta. Međutim, jasno je da pokreti u svakom pojedinačnom zglobu moraju vremenski da se koordinišu da bi dali željeni rezultat. Osim toga, čovek ne koristi pokrete kinetičkih lanaca samo za postizanje maksimalne brzine, već i za savladavanje spoljašnjeg otpora, pokrete krajeva kinetičkih lanaca u određene položaje (tzv. prostorno tačne pokrete) itd. Iz tih razloga se biomehanika bavi kinematičkim šemama složenih kretanja - vremenskim šemama izvođenja osnovnih pokreta koji dovode do optimalnog višezglobnog kretanja kinetičkog lanca. Višezglobni pokreti, kakav je bočni volej udarac, postižu najveće brzine kraja kinetičkog lanca superpozicijom tj. sabiranjem brzina postignutih u zglobovima otvorenog kinetičkog lanca. Na osnovu toga gde započinje i kako se vrši pokret bočnog volej udarca, razlikujemo osnovne kinematičke šeme složenih pokreta.

2.1.4. Osnovne kinematičke šeme složenih pokreta

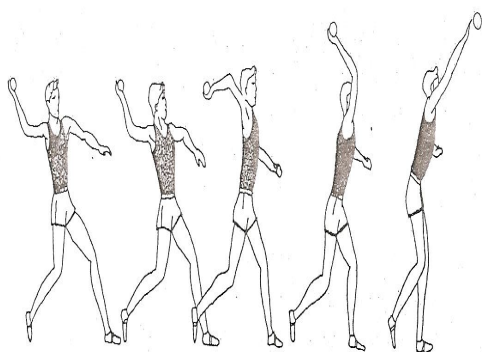
Osnovni kriterijum na osnovu koga se razgraničavaju ove šeme je, da li se kretanje u svim zglobovima kinetičkog lanca započinje i vrši istovremeno ili ne. Na osnovu toga se razlikuju dve osnovne kinematičke šeme složenih kretanja:

1) **Sukcesivna kinematička šema** (ili, kraće, sukcesivna šema) - kretanje se započinje u zglobu jednog kraja kinetičkog lanca, a zatim se redom uključuju susedni zglobovi, sve dok ceo lanac ne bude u pokretu.

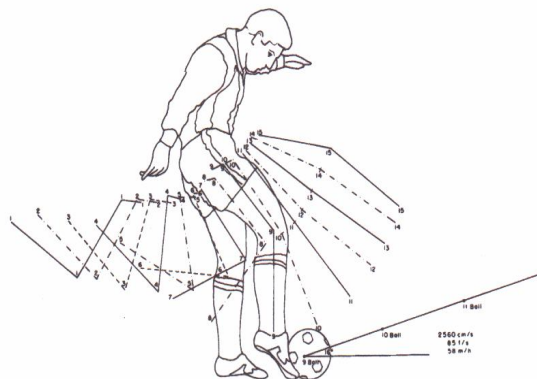
2) **Simultana kinematička šema** (ili, kraće, simultana šema) - kretanje se istovremeno započinje i vrši u svim zglobovima kinetičkog lanca.

Sukcesivna kinematička šema - bacanja, šutevi, udarci i skokovi. Prema definiciji iz prethodnog poglavlja, u sukcesivnoj kinematičkoj šemi kretanje se započinje na jednom kraju kinetičkog lanca, a zatim se pokreću i susedni segmenti, sve dok ne započne kretanje i u poslednjem zglobu drugog kraja lanca. Jednostavnije rečeno, „kretanje se prenosi” sa jednog na drugi kraj kinetičkog lanca. Pošto svaki kinetički lanac ima dva kraja, a jedan od njih je obično zatvoren, sukcesivna šema pokreta se dalje deli na:

1) Otvorenu kinematičku šemu (ili, kraće, otvorenu šemu) - kretanje se prenosi od - zatvorenog ka otvorenom kraju kinetičkog lanca.



Slika 2.1



Slika 2.2

Slika 2.1. Bacanje lopte kao primer otvorene kinematičke šeme. Kretanje se najpre započinje u zglobovima - nogu, zatim trupa i, na kraju, zglobovima ruku. Slika 2.2 Udarac po lopti kao primer otvorene kinematičke - šeme, kretanje započinje u zglobovima kuka, zatim kolena, i na kraju u zglobovima stopala.

2) Zatvorenu kinematičku šemu (ili, kraće, zatvorenu šemu) - kretanje se prenosi od otvorenog ka zatvorenom kraju kinetičkog lanca.

Volej udarac predstavlja primer otvorene kinematičke šeme. Naime, pri udarcima nogom važno je da se postigne maksimalna brzina stopala slobodne noge, a pri bacanjima i udarcima rukom važi isto za šaku ruke kojom se vrši zadato kretanje. Na osnovu ovoga se zaključuje da se otvorena kinematička šema koristi u kretanjima čiji je zadatak postizanje maksimalne brzine otvorenog kraja kinetičkog lanca. Ponekad se ova šema u stručnom žargonu naziva i „bičem”, jer se, kao i u kretanju biča, u pravcu kretanja najpre pokreću segmenti uz oslonac (pripadaju zatvorenom kraju kinetičkog lanca), a zatim susedni segmenti, sve dok se na kraju ne pokrene i poslednji segment - otvoreni kraj lanca. U slučaju da se na kraju kinetičkog lanca nalazi laka spoljna poluga (npr. stonoteniski reket), onda se ova poslednja pokreće u željenom pravcu.

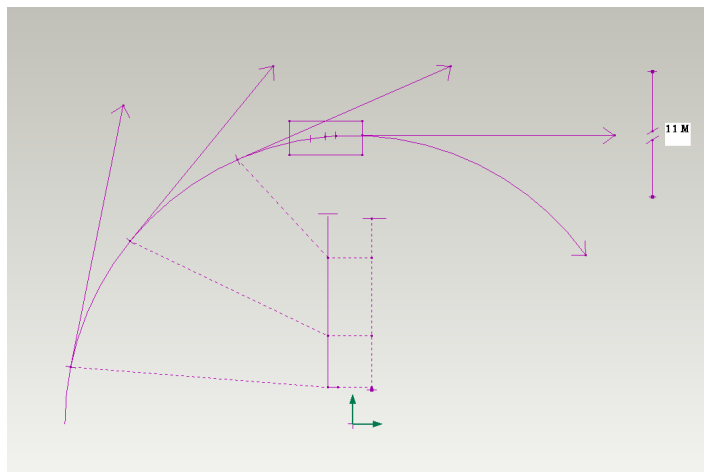
Prethodno razmatranje pokazuje da se otvorena kinematička šema koristi u velikom broju različitih tipova pokreta. Za razliku od nje, zatvorena kinematička šema se koristi samo u skokovima. Zajedničko za sva navedena kretanja u kojima se vrši kretanje po zatvorenoj šemi je postizanje velike brzine tela. Naime, brzina trčanja je određena brzinom težišta tela, a rezultat skoka u dalj, skoka u dalj iz mesta i vertikalnog odskoka, kako je to pokazano u razmatranju kosog i vertikalnog hica, najviše zavisi od početne brzine. Na osnovu ovoga se zaključuje da se zatvorena kinematička šema koristi u kretanjima koja za zadatak imaju postizanje maksimalne brzine težišta tela. U tom smislu, i u voleju postoji združena veza

između efekata ispoljavanja zatvorenog lanca (minimalno opružanje u zglobu kolena uz združenu unutarnju rotaciju u zglobu kuka stajne noge) sa efektima ispoljavanja otvorenog lanca koji se, u egzekutivnom smislu pokreta, tretira kao jedini važan (fleksija sa unutarnjom rotacijom u zglobu kuka i umerena ekstenzija u zglobu kolena).

Postojanje sukcesivnih kinematičkih šema, o kojima je ovde bilo govora (otvorena i zatvorena), može da se objasni jednostavnom mehaničkom analizom pomenutih kretanja. Naime, da bi slaganje brzina dalo maksimalnu brzinu otvorenog kraja kinetičkog lanca ili težišta tela, potrebno je da se u svim zglobovima lanca istovremeno postigne najveća brzina. Za njeno razvijanje je, različitim zglobovima, potrebno različito vreme. Na primer, za postizanje maksimalne brzine zamaha trupa ili natkolenice pokretom u zglobu kuka, potrebno je daleko više vremena, nego za postizanje maksimalne brzine zamaha šake u zglobu njenog korena. Uz to, zglobovi bliži zatvorenom kraju kinetičkog lanca „nose” sve segmente otvorenog kraja, pa pri bacanju, na primer, skočne zglobove opterećuje masa i inercija skoro celog tela, a zglob lakta opterećuju samo podlakat i šaka. Iz tih razloga, neki zglobovi moraju da započnu kretanje pre drugih, da bi se pri kraju kretanja dobio maksimalni efekat slaganja brzina.

2.1.5. Simultana kinematička šema - prostorna tačnost i delovanje velikom silom

Simultanu kinematičku šemu volej udarca u fudbalu karakteriše istovremeno započinjanje pokreta u svim zglobovima kinetičkog lanca. Najvažniju grupu pokreta, koji se vrše po simultanoj šemi, predstavljaju pokreti koji zahtevaju veliku prostornu tačnost (nazivaju se još i preciznim pokretima).



Slika 3. Prikaz uskog opsega u kome je uspešan sudar lopte i noge

Posmatrano iz kinematičkog aspekta, tačne pokrete u fudbalu karakterišu i druge osobine. Na primer, umerena brzina vršenja tačnih pokreta objašnjava se potrebom vizuelnog navođenja, boljom kontrolom mišićnih sila i obradom proprioceptivnih signala. Za biomehniku je od većeg interesa druga osobina tačnih pokreta, približno pravolinijska putanja otvorenog kraja kinetičkog lanca. Zapaženo je da, kada se od rukometaša traži da izvede najjači šut, on koristi sukcesivnu (otvorenu) kinematičku šemu, pri čemu je putanja šake (tj. otvorenog kraja kinetičkog lanca) lučna. Ako se od njega traži da loptom pogodi tačno određenu tačku, šema je u manjoj meri sukcesivna, a putanja šake se donekle ispravlja.

Ako se koristi krivolinijska putanja, greške u izboru trenutka za izbačaj tela (u žargonu - „tajming”) dovodi do znatnih odstupanja bačenog tela od cilja. Ako se putanja ispravi, ove greške znatno manje utiču na tačnost bacanja.

Kao primer mogu da posluže i odbojkaške tehnike: smeč se vrši po otvorenoj šemi i putanja šake je lučna, a tzv. „podizanje” (sporiji pokret od koga se zahteva velika tačnost) vrši se po simultanoj šemi i putanja šake je skoro pravolinijska.

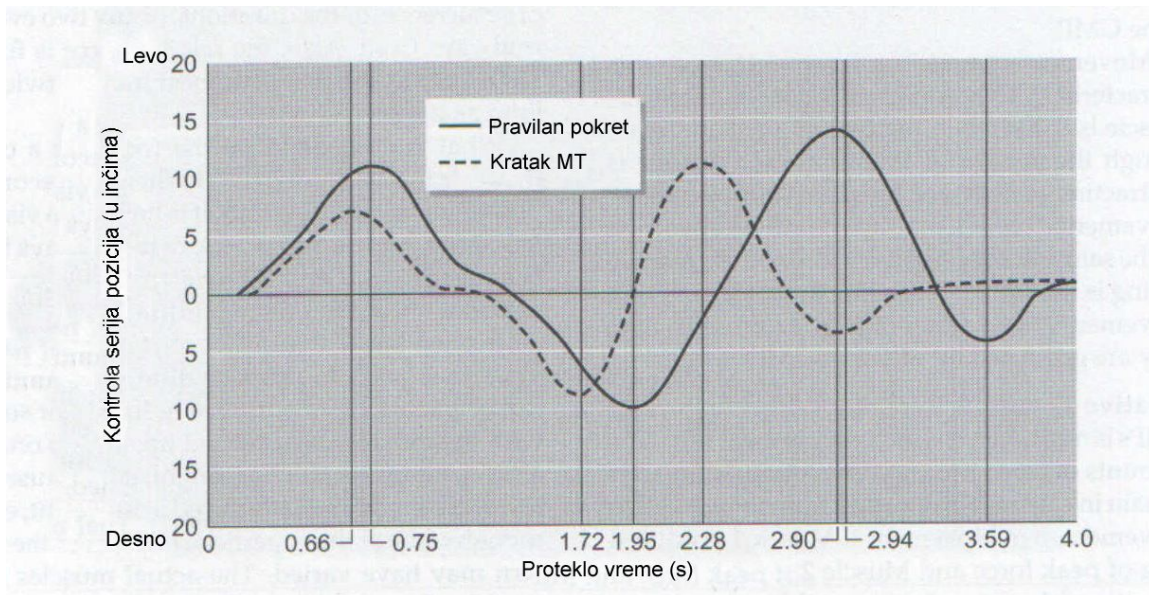
Druga klasa pokreta, u kojima se koristi simultana kinematička šema, su pokreti pri kojima se deluje velikom silom. Zapaženo je da, kada se povećava masa tela koje se baca, sukcesivna otvorena šema postupno prelazi u simultanu. Na primer, bacanje koplja karakteriše izrazito sukcesivna šema, a bacanje kugle skoro simultana, naročito ako se posmatraju pokreti ramenog pojasa, zgloba ramena i lakta. Slično važi i za vertikalne sunožne odskoke izvršene sa različitim teretom na ramenima. Sa malim spoljnim teretom, odskok se vrši po zatvorenoj šemi, a sa velikim, po simultanoj šemi. Slično važi za sve pokrete u kojima kinetički lanac deluje protiv velike spoljne sile.

Generalno uzevši, korišćenje slaganja brzina i izbor optimalnih kinematičkih šema predstavlja važan činilac u fudbalu i predmet je motornog učenja od najranijeg detinjstva. Na primer, sasvim mala deca pri bacanju loptice koriste samo zglobove ruku i pri tome njihovo kretanje loše koordinišu. U intervalu od druge do sedme godine života, oni u pokret bacanja uključuju najpre rameni pojas, pa kičmeni stub, a na kraju i zglobove nogu. Slično važi i za šuteve, udarce, skokove, itd. U fudbalu, optimizovanje kinematičkih šema, može da bude od presudnog značaja za efikasnost tehnike kretanja i udaraca po lopti, a time i za takmičarski rezultat. Na osnovu gore iznetog, možemo zaključiti da je volej udarac kombinacija simultane i sukcesivne šeme. Metode analize i optimizacije kinematičkih šema, međutim,

pretežno spadaju u posebnu oblast biomehanike - motornu kontrolu. Za uspešno izvođenje bočnog voleja pored adekvatnog slaganja brzina i izbora optimalnih kinematičkih šema, potrebno je željenu (uspešnu) šemu sačuvati kao celinu u memoriji. To se postiže mehanizmom relativnog „tajminga“.

2.1.6. Mehanizam relativnog tajminga (Relative Timing)

U fudbalu se pokret bočnog voleja može predstaviti kao vremenska struktura, koja se izvodi odabiranjem varijabli brzine koje definišu vreme trajanja pokreta, dok unutrašnja struktura ostaje nepromenjena. U osnovi ovakvog ponašanja prenosa informacija i proporcionalnog modulisanja vremena od sekvence do sekvence je mehanizam tzv. „relativnog tajminga“ (Sherwood i sar. 1980; Schimdt, 1990). Tokom poslednje dve decenije razvijena je teorija o tzv. „relativnom tajmingu“, mehanizmu koji omogućava čoveku da željenu šemu pokreta sačuva kao celinu, a da, prema motornom zadatku, taj pokret izvodi različitom brzinom, tako da se trajanje svih njegovih sekvenci proporcionalno skraćuje ili produžava, čak u intervalu 0.16 s - 1.8 s (Engelhorn, 1983). Kada se trajanje terminalnih pokreta menja, obično je u njemu konstantan udeo vremena proteklog od trenutka razvijanja maksimalne sile agonista, pa do trenutka maksimalno realizovane sile antagonista (Karst i sar. 1991). Ako se ovo prevede na nivo motornog programa, odnos između integrisanih površina blokova mioelektrične aktivnosti (kojima bi trebalo približno da odgovaraju realizovane sile aktivnih mišića), ostaje nepromenjen. Relativni tajming postoji i u prostornim koordinatama, a ne samo u vremenskim. Eksperimenti po istom obrascu, ali na pokretima vršenim različitim zglobovima, pokazali su da razlike u amplitudnom parametru postoje, ali da se unutrašnja struktura ne menja (Želaznik i sar. 1986). Da postoji jedan centralni kontrolor za prostorne predstave, Lataš i sar. (1992) su pokazali dopunjujući prethodnu grupu eksperimenata izvođenjem pokreta pisanja zadatih slova ustima i dominantnom nogom. Ova šema se odnosi, na sparivanje pokreta natkolenice sa pokretima potkolenice, ostvarenih različitim odnosima pojedinačnih brzina, kao i različitim odnosima ostvarenih amplituda, pogotovo u zglobu kuka i kolena.



Slika 4. Šema relativnog tajminga dobijena na različitim eksperimentalnim obrascima za koje se očekuje da bi mogla da bude jedna od prihvatljivih načina kontrole volej udarca

Naredni koncept upravljanja se odnosi na hijerarhiju grupa nezavisnih veličina koje ravnopravno određuju pokret bočnog voleja, a odnose se na kontrolu položaja, brzine i trajanja pokreta, pri čemu je svaka od varijabli na nivou CNS-a nezavisna, ali tokom vršenja pokreta determinisana sa ostale dve. Pretpostavlja se da, prilikom programiranja trajanja (MT), brzine (w) i terminalnog položaja (r), šum na nivou CNS-a dovodi do greške i ne može da se umanja. Nije očigledno da li ispitanik može da bira bilo koju od tri varijable, sa većom tačnošću od druge. Iskustvo ukazuje da je „izvesti pokret u okviru istog položaja” lakše nego izvesti istom brzinom, što je, opet, lakše nego „izvesti pokret u okviru istog vremena”. Ovaj zaključak mogao bi da se izrazi u okviru tri varijable, neophodne u procesu kontrole CNS-a:

$$dMT/MT > dw/w > dr/r$$

gde su dt , dMT i dr pretpostavljene greške u proračunavanju MT, w i r koje utiču na varijabilitet motornih programa brzih pokreta, kakav je bočni volej udarac. Pored mehanizma relativnog tajminga, jedan od najvažnijih aspekata pri izvođenju bočnog volej udarca je i interakcija pojedinih mišićnih grupa. Postoje dve teorije motorne kontrole koje objašnjavaju ovu pojavu. To su teorija ravnotežnog položaja i impulsna teorija.

2.2. Teorija ravnotežnog položaja i impulsna teorija

Fudbal je skup veština koje su interesantne za naučna istraživanja. U tom smislu, tehnika udarca po lopti je najviše istraživana oblast. U fudbalu se razlikuju vrste udarca po lopti, vezane za brzinu lopte pre i posle udarca, poziciju lopte, prirode udarca, namere koja se želi tim udarcem postići, ali jedna od najmanje istraživanih varijanti je bočni volej udarac.

Da bi se dobio adekvatan odgovor o suštini ovog značajnog tehničkog elementa, neophodno je steći uvid u samu strukturu ovog fudbalskog elementa. Najbolji uvid u strukturu bočnog voleja može pružiti biomehanička i kinematička analiza izvođenja ovog pokreta. Ovim analizama moguće je obuhvatiti ceo pokret, i tako prikupiti ceo niz odgovarajućih varijabli od kojih zavisi efikasna realizacija bočnog voleja. Te varijable se odnose na trajanje realizacije, na povezanost između stajne i zamajne noge odnose stajne i zamajne noge, ponašanje gornjeg dela tela u trenutku kontrazamaha i zamaha, visinu i brzinu stopala zamajne noge i lopte u momentu pre i posle udarca. Takođe, slaganjem translatornih i rotacionih kretanja pojedinih segmenata tela (ili celog lokomotornog aparata) prilikom izvođenja udarca, i reproduktivnijem preciznih vrednosti brzina kretanja zglobova, uglovnih brzina segmenata, shvatićemo uzročno-posledične veze samog pokreta.

Najtačniji odgovor na pitanje kako igrač upravlja pokretom bočnog volej udarca, dobićemo uz pomoć motorne kontrole kao nadgradnje biomehanike humane lokomocije. Ova nova naučna disciplina probleme lokomocije proširuje sa lokomotornog aparata na nervni sistem (CNS), i njihovim međusobnim delovanjem pruža adekvatne odgovore. Iz aspekta motorne kontrole, bočni volej (koji se izvodi velikom brzinom) možemo svrstati u kontrolu brzih terminalnih pokreta, tj. kao pokret izveden velikom brzinom u zadati položaj. Ovakvi pokreti (gde je zadat i početni i krajnji položaj pokreta) spadaju u najčešće motorne zadatke u fudbalu.

Poslednjih sedam decenija, problem upravljanja brzim terminalnim pokretima predmet je mnogih istraživanja koja se odnose na prirodu motornih programa. Rezultati generalno predlažu da pri ovoj vrsti pokreta EMG aktivnih mišića pokazuje pravilnost u pogledu trajanja i intenziteta ekscitacionih blokova i da postoji određen uticaj uslova izvođenja na kinematičke veličine (trenutni položaj, brzina, ubrzanje). Uočeno je da nivo voljne aktivacije agonista i antagonista, pre svega, zavisi od načina i uslova u kojima se kinetički

lanac zaustavlja. Osnovni zadatak je da se analizom trajanja i intenziteta integrisane EMG aktivnosti agonista i antagonista ispita način njihovog angažovanja u zavisnosti od uslova izvođenja u terminalnim balističkim pokretima (Engelhom, 1983).

Imajući u vidu pojavu određenog redosleda uključivanja mišića, tj. grupisanja električnih aktivnosti antagonističkom paru mišića, trenutno postoje dve teorije (ili, preciznije, grupe teorija i njihove podvarijante) motorne kontrole koje se odnose na osnovne principe funkcionisanja i prilagođavanja motornih programa promenama uslova izvođenja pokreta. One na različit način tumače strukturu komandi antagonistima. To su:

1. Teorija ravnotežnog položaja - TRP (u stručnoj literaturi na engleskom nazvana („*Equilibrium point hypothesis*”) koju je prvi formulisao Feldman (1966), a razvili Bici i sar. (1976), Lataš i Gotlib (1991) i dr. Prema njoj je položaj u svakom zglobu određen trenutnim nivoom aktivacije antagonističkih mišićnih grupa (direktno, njihovih momenata sila). Segmenti tela zaustavljaju se u položaju u kome se ti momenti uzajamno poništavaju. Pokreti se vrše tako što jedna mišićna grupa poveća nivo aktivnosti i/ili ga druga smanji i segment tela se pokreće u smeru tog dejstva, sve dok se ne zaustavi u novom ravnotežnom položaju. Dakle, prema ovoj teoriji, pokret se završava uvek u jednom položaju.

2. Impulsna teorija - IT (koristi se i engleski naziv „*force control*”)², predstavlja, zapravo, skup teorija za koje je značajno to da pokret ne smatraju rezultatom simultane (kao što je to slučaj sa TRP), već naizmenične aktivacije antagonističkih mišićnih grupa (Mayer i sar. 1988). Prema IT, pokret se vrši tako što najpre agonisti ubrzavaju segment (tzv. „impuls agonista”), a zatim njihovo dejstvo prestaje. Silom počinju da deluju antagonisti („impuls antagonista”) koji tokom narednog intervala koče segment, zaustavljajući ga u željenom terminalnom položaju. Terminalni položaj, za razliku od ponašanja prema prethodnoj teoriji, određen je intenzitetom i vremenskim rasporedom aktivacije antagonističkih mišićnih grupa. Zagovornici ove teorije sugerišu da se pokreti u različitim uslovima izvođenja vrše nezavisno

² *Hipoteza Force Control*

Naširoko je prihvaćeno da u pokretima, nervni sistem zavisi od motorne memorije, prethodnih iskustava, učenja, implicitnih i eksplicitnih znanja fizičkih osobina tela i sredine (Bernstein 1967; Lashley 1951). U formaciji force control, ovaj kapacitet je u vezi sa internim modelima, hipotetičkim nervnim mehanizmima koji mogu da imitiraju input – output karakteristike, ili njihove obrnutosti motornog aparata (Kawato 1999).

U formulisanju force control, projekcije željenih pokreta su prvo planirane u smislu prostornih koordinata njihovih proizvoda i onda transformisane u potrebne snage i sile. Da bi izračunali obrtnu snagu, sistem koristi internu reprezentaciju dinamičke jednačine pokreta tela koja je u vezi sa sredinom.

od početnog položaja prema proračunatom trajanju pokreta, koji je određen intenzitetom i trajanjem sila aktivnih mišića. Ovo često odgovara tipičnom početnom nameštaju i izvršenju relativno kratkog trajanja, gde je rastojanje između početka i kraja pokreta slično.

Korišćenjem kinematičkog modela i analogijom njegovog ponašanja sa realnim pokretima segmenta tela, samo je izložen pregled ponašanja u skladu sa TRP i IT teorijama i njihove razlike koje nastaju sa promenama početnih uslova. Iz aspekta ovog rada, od posebnog značaja jeste mogući efekat reprodukovanja terminalnog položaja nastao kao posledica promena u početnom položaju ili inercijalnom opterećenju. Ovi efekti bi mogli indirektno da podrže jedan ili drugi koncept modela upravljanja, za šta postoje jasne predikcije prema svakom od modela. Predstavljene teorije na različit način tumače strukturu komandi mišićima. Da bismo razumeli na koji način CNS utiče na sile koje učestvuju pri bočnom volej udarcu, potrebno je upoznati princip inverzne dinamike.

2.3. Uvođenje inverzne dinamike u cilju sprovođenja neposredne kontrole volej udarca

Glavna ideja modela *force control* je da nivoi kontrole nervnog sistema imaju direktan uticaj na sile koje su potrebne za izvođenje voljnih pokreta, kakav je i bočni volej u fudbalu. Ova ideja je podržana istraživanjima koja prikazuju veze između snage, EMG aktivnosti i kinematičkih varijabli pokreta. Ako znamo morfološke karakteristike fudbalera, možemo da predvidimo kakvu putanju će imati kraj kinetičkog lanca. Dakle, svako gasi moment inercije na različit način. Gottlieb i sar. (1989, 1990) i Corcos i sar. (1989) pokazali su da u pojedinačnim pokretima zgloba lakta postoji veza sa obrtnom silom zgloba, kinematskom promenljivom, razdaljinom i internim teretom. Gottlieb i sar. (1996), Koshlan i sar. (2000) i Gribble i Ostrey (1999) pokazali su da postoji sistematska veza između obrtnog momenta u ramenu i obrtnog momenta u laktu, u različitim uslovima.

Sa aspekta mehanike, potpuni opis pokreta oslanja se na informacije o kinematičkim promenljivim, snazi pojedinačnih mišića i njihovim obrtnim momentima. Kinematičke promenljive mogu se meriti direktno, koristeći jednu od brojnih tehnika gde inverzna dinamika ostaje praktično jedini metod izvođenja obrtne sile, naročito u studijama višezglobnih pokreta (kakav je i bočni volej udarac). Inverzna dinamika je inicijalno korišćena da karakteriše snagu u vezi sa različitim šablonima pokreta (Winter 1984). Hollerbach (1982) je postavio hipo-

tezu da izvođenje pokreta može uključivati sličan šablon, koji se sastoji od transformacije iz krajnjih tačaka na koordinatama zglobova i onda se inverzni šablon obrtne sile zgloba bazira na jednačinama pokreta noge. Od tada se, matematička formulacija šeme *force control* fokusira na ideju inverzne dinamike tj. da je koordinatno planiranje u kinematičkim koordinatama transformisano u obrtnu snagu zgloba, potrebnu da izvede željene pokrete. Inverzni model obezbeđuje predvidiv mehanizam, zasnovan na modelu očekivane dinamike.³

Da osobe imaju mogućnost da menjaju kontrolu pokreta ruke u predvidivim slučajevima, pokazano je u kontekstu pokreta sa zavisnim opterećenjima. U praksi, osobe proizvode pravolinijske pokrete u kontekstu različitih opterećenja. Ova sposobnost je pokazana za soplejšnje opterećenja (polja snage) koje varira sa brzinom (Lackner i Dizio 1994; Conditt i sar. 1997; Gandolfo i sar. 1996; Goodbody i Wolpert 1998; Shadmehr i Musa – Ivaldi 1994), i prava opterećenja kao što su zglobna interakcija snage u višezglobnim pokretima (Almeida i sar. 1995, Sainburg i sar. 1995). Da bi se došlo do ove adaptacije, nervni sistem mora uključiti informacije o dinamici tenzora ligamentoznog aparata (skraćenost i izduženost), kao i položaj segmenata tela u prostoru. Volej je transparentan primer opisane adaptacije.

2.4. Prostorna kontrola (*Spatial Control*) pri pokretu bočnog volej udarca

Hipoteza „prostorne kontrole” proizašla je kao posledica da centralne komande pokreta bočnog volej udarca specifikuju projekcije segmenata noge pre nego, položaja zglobova. Ideja „prostorne kontrole” može se dovesti u vezu sa ranim teoretskim i skorašnjim eksperimentalnim istrživanjima. Bernstein (1935) je formulisao hipotezu da postoje viši nivoi CNS-a koji projektuju položaj segmenata u prostoru, a ne projekcije zglobova i mišića. Lashely (1951) je postavio hipoteze postojanja sistema prostornih koordinata kodiranjem položaja segmenata u prostoru. Drugim rečima, pri bočnom volej udarcu, svako kontroliše

³ Neurofiziološki dokaz računanja inverzne dinamike je ponuđen u kontekstu šablona Purkinje ćelijske aktivnosti (Gomi et al 1998; Schidara 1993). Naročito, pokazano je da se šabloni Purkinje ćelija tokom refleksa oka pri pokretu mogu rekonstruisati iz linearne kombinacije pozicije oka, brzine i ubrzanja, na način koji je u saglasnosti sa vezom između ovih promenljivih datih jednačinom pokreta oka. Predloženo je da ovi zaključci obezbeđuju direktan dokaz modela inverzne dinamike u aktivnosti neurona u cerebralnom korteksu. Ovaj rezultat, zajedno sa rezultatima studija (Tamada et al 1999) i demonstracija adaptacije i učenja u cerebelumu (Thach 1998), ponuđeni su kao dokaz da je cerebellum glavna strana internih modela (Kawato 1999).

Sadašnje formulacije *force control* su povezane sa radom na motornom učenju, kako bi se postigla adaptacija na mehanički pokret. Merni sistem uključuje informacije o dinamici ligamenata i spoljnim opterećenjima u kontroli signala. Budući interni modeli motornog sistema su predloženi kao način da se postigne predvidiva adaptacija (Jordan i Rumelhart 1992).

segmente tela na drugačiji način. Neko kontroliše poziciju kolena i stopala, a neko isključivo stopala sa manjim ili većim stepenom nagiba tela.

Nadovezujući se na prethodno, Russell (1970) je proučavao tačnost ispružanja jedne ruke u dati položaj, počinjući iz različitih početnih pozicija, i zaključio da je „izvor alternativa u prostornim korekcijama, oslanjajući se na trenutne položaje u pokretu“. Dalje, eksperimenti od strane Viviani i Terzudo (1980) dali su detaljan kinematski opis pokreta ruke tokom pisanja, koji pokazuje da osnovne kinematske promenljive (brzina ruke) sadrže privremene šablone kada se promeni pozicija i veličina pokreta. U zavisnosti od uslova pod kojima dolazi lopta, fudbaler prepoznaje šemu pokreta u završnoj fazi i shodno tome postavlja sistem u optimalan položaj. Igrač praktično kontroliše položaje segmenata u prostoru i položaj lopte, i shodno tome vrši korekciju pozicije segmenata u odnosu na loptu. Sve ove zakonitosti, u vezi sa prostornim korekcijama, različito se ponašaju u zavisnosti na kom nivou brzine se izvodi pokret.

2.4.1. Osnovne zakonitosti razmene tačnosti i brzine

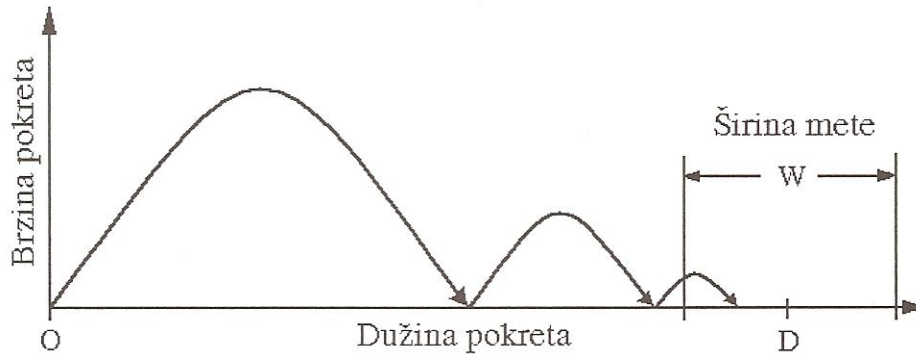
Veliki deo istraživanja kontrole pokreta ruku bavio se jednostavnim zadatkom kretanja prsta, šake ili podlakta iz jednog položaja u drugi, što brže i tačnije. Ovakav zadatak je istraživao Vudford još 1899. godine. Njega je impresionirala brzina i tačnost kojom su građevinski radnici ukucavali eksere. Pitao se kako je moguće da radnici postižu veliku brzinu i tačnost.

Da bi odgovorio na ovo pitanje, Vudford (1899, prema Šmitu, 1990) je izveo eksperiment u kojem su ispitanici pokretali olovku kroz prorez napred-nazad, menjajući smer kretanja u odnosu na dva vizuelno markirana položaja. Od ispitanika je zahtevano da izvode pokrete napred-nazad, prema različitim brzinama, koje su zadavane metronomom. U jednom delu eksperimenta, ispitanici su vršili pokrete otvorenih očiju, dok su u drugom, izvodili iste pokrete zatvorenih očiju.

Zavisna varijabla je srednja sistematska greška (SG), definisana kao srednje apsolutno rastojanje između položaja, gde je olovka promenila smer kretanja i gde je trebalo da promeni zadati početni i terminalni položaj. Nezavisna varijabla je srednja brzina pokreta. Kada su ispitanici imali zatvorene oči, srednja SG ostala je konstantna dok je brzina uvećavana. Međutim, kada su ispitanici izvodili pokrete otvorenih očiju, SG je bila umanjena kada je

brzina bila smanjena. Tačnost je poboljšana, dok su pokreti bili usporavani pri otvorenim očima, ali ne i kada su oči bile zatvorene. Vudford je objašnjavao ove rezultate preprogramiranjem pokreta. Pokreti su vršeni tzv. inicijalnim impulsom. U uslovima kada su im oči bile otvorene, pokreti su bili programirani i korigovani vizuelnom reakcijom, što je Vudford nazvao - „tekućom” ili „uzastopnom kontrolom”.

Prvi deo pokreta vršen je putem kontrole inicijalnog impulsa, a kasnije sekvence pokreta su izvođene uzastopnim korekcijama.



Slika 5. Skica modela uzastopnih korekcija. Na apscisi je predstavljena dužina pokreta, a na ordinati brzina kinetičkog lanca tokom pokreta. Pune linije oblika parabole prikazuju hipotetičke podpokrete izvršene iz početnog položaja preko odgovarajuće dužine u terminalni položaj odgovarajuće širine. Zona mete je ograničena sa dve vertikalne linije na rastojanju W , dok referentna tačka D , koja odgovara sredini regiona, predstavlja potpunu tačnost. Slika je preuzeta iz (Salmoni et al. 1988).

Ako pokret treba da bude izveden za veoma kratko vreme od 0.2 s, iz aspekta uzastopne kontrole, on će imati grešku koliku i pokret koji će biti izveden kad postoji više vremena u uslovima u kojima je uklonjena vizuelna povratna veza.

Brojni istraživači su proveravali Vudfordovu hipotezu po kojoj pokreti ciljanja imaju jednu inicijalnu balističku fazu, koju prati faza reakcije bazirana na trenutnoj brzini ili položaju. Jedna od metoda koju su koristili da bi proverili ovu hipotezu je da ispitanici pokreću iglu nazad-napred između dve mete, što brže mogu, menjajući širinu meta i njihovo međusobno rastojanje (Wierzbicka i sar. 1986; Lovelace, 1989). Fitts je otkrio, da kada je zahtevana tačnost izražena širinom mete konstantna, trajanje pokreta je uvećavano sa logaritmom dužine pokreta. Kada je dužina pokreta bila konstantna, trajanje pokreta je uvećavano sa logaritmom tačnosti (definisana kao recipročna vrednost širine mete). Prema tome, trajanje pokreta je linearno povezano sa logaritmom dužine pokreta (D) podeljenog sa širinom mete

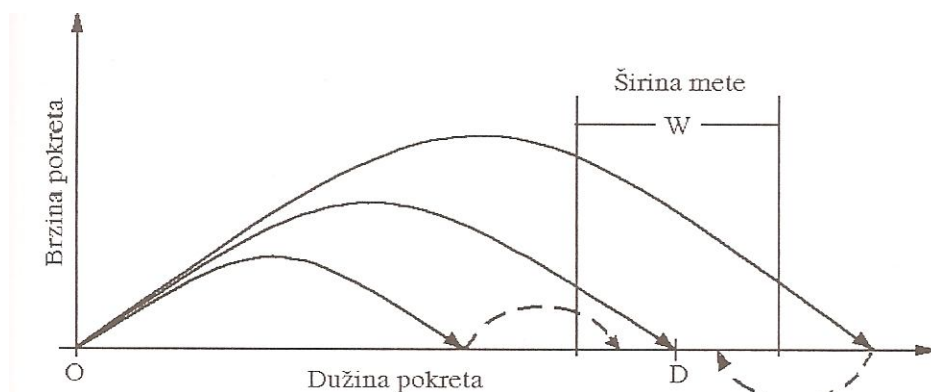
(W). Prema ovome, D i W podjednako menjaju trajanje pokreta (Krosman prema Fitsu, 1983). Vreme potrebno za prenošenje igle, sa jedne mete na drugu, povećava se rastojanjem između meta i smanjenjem njihove veličine. Fits (1954) je ovaj odnos sažeo u empirijski model:

$$MT = a + b \times \log_2 \frac{2D}{W} \quad \text{Jednačina 1.1}$$

gde MT označava trajanje pokreta, D označava dužinu pokreta (tj. rastojanje između centara meta), W označava širinu mete, dok su a i b empirijske konstante čije veličine zavise od motornog zadatka, a različite su za svakog ispitanika. Izraz $\log_2 (2D/W)$ je nazivan indeksom težine. Prema jednačini 1.1, trajanje pokreta linearno raste s indeksom težine. Ova jednačina je nazvana Fitsov zakon (Mayer et al. 1988).

2.4.2. Model varijabilnosti impulsa

Prema jednoj hipotezi, pretpostavljeno je da Fitsov zakon reflektuje fazu inicijalnog impulsa pre nego fazu uzastopne kontrole (Crossman et al. 1983; Marteniuk, 1972).



Slika 6. Nizovi podpokreta izvedenih prema prostornom cilju u skladu sa usavršenim modelom inicijalnog impulsa Majera i saradnika (1988). Slika preuzeta iz (Mayer et al. 1988.)

Eksperimenti na osnovu kojih je sačinjen ovaj model, razlikuju se od eksperimenta koji je radio Fits. Dok je od Fitsovih ispitanika traženo da izvedu pokret šakom što je pre moguće, pri čemu ispitanici sami određuju trajanje pokreta, u eksperimentima Šmita, traženo je da ispitanici reprodukuju pokrete u metu u okviru zadatog vremena i da pri tome pokušaju da smanje grešku. Trebalo je da ispitanici izvede pokrete prema terminalnim položajima posta-

vljenim između 10 i 30 cm od početnog položaja u okviru 200 ms. Varijabilna greška krajnjih položaja We (nazvana „efektivna širina cilja”) povećana je sa rastojanjem Z , dok se We smanjuje sa trajanjem pokreta, što pokazuje jednačina 1.2:

$$We = k (D/MT) \quad \text{Jednačina 1.2}$$

gde je k konstanta. Jednačina 1.2 može da bude prikazana i kao

$$MT = k (D/We) \quad \text{Jednačina 1.3}$$

Ovaj odnos između MT , D i varijabilne greške krajnjih položaja, sličan je Fitsovom zakonu. Koja bi interakcija CNS-a sa lokomotornim aparatom mogla da prouzrokuje ovaj odnos?

Šmit i sar. (1988) sugerisali su da su brzi pokreti ruku vršeni pokretanjem ruke prema cilju nervnim impulsom koji je prenošen na mišiće segmenta tela. Ovaj impuls deluje za prvu polovinu, od ukupnog trajanja pokreta, u obliku nagomilane povezane ekscitacije mišića. Tokom druge polovine trajanja pokreta, putanja je isplanirana i segment se kreće po inerciji prema cilju. Dalja pretpostavka je, da postoje razlike u silama koje pokreću ruku prema cilju, kao i razlike u vremenu tokom kojeg su ove sile razvijane. Pretpostavljeno je da je sistematska greška u korelaciji sa veličinom sile. Varijabilna greška kod MT tokom kojeg se prenose impulsi, pretpostavlja da je proporcionalno veća sila upotrebljena da bi se prešlo duže rastojanje. Kao rezultat, javljaju se veće greške u mišićnoj sili, iako je više vremena potrošeno za pokretanje ekstremiteta ili njegovog segmenta prema cilju. Rezultat bi bila veća greška kod MT . Zato što je pretpostavljeno da su MT i sila u ovom modemu posebno kontrolisani, cilj ispitanika je da nađe optimalnu kombinaciju sile i njenog trajanja, odnosno vreme i silu koja će svesti na minimum odstupanja obe ove motorne varijable.

Kil i sar. (1987) su testirali hipoteze o varijabilitetu sile i MTu eksperimentima gde je od ispitanika traženo da izvode izometrijske kontrakcije, i prema tome, razvijaju različite intenzitete sile za različito MT . Kako je predviđeno ovim modelom, standardno odstupanje ispoljene mišićne snage je bilo proporcionalno uloženoj sili, dok je varijabilna greška kod MT bila proporcionalna sa MT^4 . Ovi modeli u potpunosti odgovaraju funkcionisanju donjih ekstremiteta.

⁴ *Usavršeni model inicijalnog impulsa*

Do sada su razmatrana dva različita objašnjenja Fitsovog zakona. Jedan je model učestale korekcije, koji ovaj zakon objašnjava isključivo iz aspekta tekuće kontrole. Drugi model, varijabilnost impulsa, objašnjava ovaj zakon isključivo iz aspekta modela inicijalnog impulsa. Prikazani modeli ne daju zadovoljavajuće objašnjenje za sve eksperimentalne rezultate koji se odnose na izvođenje terminalnih pokreta rukom, pa se pojavila

2.5. Biomehanički opis bočnog volej udarca u fudbalu

Volej udarci se izvode po principu „biča” i pri tome mora biti izvršena snažna plantarna fleksija i fiksiran skočni zglob prilikom prenosa sile, sa opružanjem noge. Shodno tome, ovaj element predstavlja vrlo kompleksnu radnju koja ga svrstava u red dominantnih i najefikasnijih elemenata udarca u fudbalu. Tehnika udarca jednaka je tehnici kao kod udarca na podlozi, s tim da volej udarac integriše velike mogućnosti kombinovanja brzine, snage, veštine i improvizacije. Možemo ih uvrstiti u jednokratna, translatorna kretanja.

Ove pokrete karakteriše polazni položaj, međufaze kretanja i završni položaj, kojim se i završava takva vrsta kretanja. Biomehanička analiza kretanja obuhvata kretanje tela u celini kao i njegovih delova. Za bočne voleje potrebno je napomenuti da oni predstavljaju složena kretanja koja vrlo često uključuju kretanje celog tela i njegovih delova u odnosu na zemlju (zalet), kao i obrtna kretanja delova tela oko svojih osa (zamah). Kod snažnih udaraca po lopti u fudbalu (voleja) naročito su angažovani ekstenzori natkolenice. Oni, s obzirom na svoju masu i površinu pripoja, kao i ustrojstvo osovina kretanja noge, mogu razviti snažan zamah.

Kod bočnog volej udarca po lopti razlikujemo sledeće faze kretanja igrača:

- pripremni pokret,
- zamah nogom (delovanje zamajne noge pre udarca),
- moment prenosa sile na loptu,
- završna faza (kretanje posle izvršenog udarca).

potreba za boljim modelom. Takav jedan model je predstavio Majer sa saradnicima (1988). Usavršeni model inicijalnog impulsa je hibrid modela učestale korekcije i modela varijabilnosti impulsa.

Ako je pokret izveden u zoni cilja, prema instrukcijama zadatak je uspešno obavljen, a ako je pokret završen izvan zone cilja, potreban je nov pokret. Drugi pokret bi mogao da završi u cilju ili ne. Prema ovome ako ni drugi pokret ne dostigne zonu cilja neophodan je treći itd. Ako je zadatak ispitanika da postigne terminalni položaj što je pre moguće, neophodno je da ispitanik izvede najbrži mogući pokret, kao glavni cilj zadatka.

Problem je u tome što, prema ovom modelu, prostorna tačnost pokreta nije velika. Standardna devijacija (SD) reprodukovanja terminalnog položaja pokreta se povećava sa povećanjem D i umanjuje sa njegovim MT , odnosno:

$$SD = k (D/MT) \quad \text{Jednačina 1.4}$$

gde je k konstanta.

Ispitanik je uglavnom suočen sa dilemom usklađivanja glavnog i sporednih ciljeva motornog zadatka koji interferiraju. Važno je što pre stići do terminalnog položaja. U slučaju velikih dužina pokreta, a kratkog vremena za izvođenje, bila bi smanjena mogućnost pogađanja cilja, povećanjem varijabilne greške u odnosu na metu. U drugoj grupi slučajeva, ispitanik bi mogao da napravi niz pokreta dugog trajanja i pri kraćim dužinama, i da bude siguran da će pogoditi cilj, ali u tom slučaju pokret predugo traje. D i MT na suprotan način menjaju varijabilitet terminalnog položaja, pa bi trebalo da se nađe njihov optimalni odnos. Prema Mejerovom modelu (1988), pokazanom jednačinama 1.5 i 1.6, Fitsov zakon predstavlja jednu takvu optimalnu kombinaciju

U principu je moguće postići maksimalnu brzinu kretanja lopte ukoliko primenjujemo veću silu na većem putu tj. veći impuls maksimalne sile vrši se na račun vremena njenog delovanja. U fudbalu to znači: pri zamahu celom dužinom noge deluje veća poluga. Veća amplituda kretanja razvija veću silu na račun trajanja zamaha. Takvi udarci imaju smisla u fudbalu u uslovima kada igrač ima dovoljno vremena za izvršenje udarca po lopti.

Pripremni pokreti realizuju se putem zaleta, zasuka i okreta. Njihov značaj je u tome što se njima teži da se stečena energija prethodnim kretanjem što potpunije prenese na loptu. Na taj način telo u celini, tj. njegovi delovi, dobijaju izvesnu početnu brzinu koja se onda prenosi na loptu. Važna uloga kod pripremnih pokreta ogleda se u povezanosti i slivenosti pokreta, kao i postepeno ravnomerno ubrzanje kretnji koje postižu svoj maksimum pri delovanju udarne površine na loptu.

Zalet se primenjuje u igri kada se ima na raspolaganju relativno veći prostor. Zavisno od prostora (u kojem se vrši zalet), igrač vremenski raspoređuje svoje ubrzanje u toku zaleta. Kod manjeg prostora, ubrzanje tela se mora postići u kraćem vremenu, dok je kod većih prostora ubrzanje postepenije. Zaletom se koristi inercija celog tela, tj. veće mase koja se prenosi na zamah udarne površine. Zbog toga se iz zaleta postižu najjači udarci. Nagib tela pre udarca povećava delovanje mase celog tela koja se prenosi na zamah nogom, a preko njega i na loptu.



Slika 7. Faza zaleta ka lopti

Okret sadrži rotirajuće kretanje tela na stajnoj nozi oko vertikalne osovine tela. Kod ovih pokreta, u određenom stepenu, rotira se i stopalo stajne noge na podlozi. Sam pokret tre-

ba kombinovati sa zamahom noge i uskladiti ga tako da se na račun ubrzanja okreta još više ubrza zamah noge i udarne površine, koji u završnici dobija najveće ubrzanje. Na taj način, veća masa tela povuče za sobom manju masu noge, što pojačava snagu udarca.



Slika 7.1 Prva faza okreta - početak rotacije



Slika 7.2 Rotiranje oko vertikalne ose



Slika 7.3 Rotiranje sa zamahom noge

Zasuk trupa u prvoj fazi sadrži kontra zamah gornjeg dela tela, koji se naročito ističe aktiviranjem ramenog pojasa, te delovanjem kontrazamaha nogom kojom se vrši udarac. Nakon toga sledi, u drugoj fazi, zasuk trupom u smeru udarca po lopti, koji za sobom „povuče” zamah natkolenice i potkolenice sa udarnom površinom noge. Posle momenta udarca po lopti sledi završna faza pokreta.

Da bi ukupnu silu dobijenu zaletom transformisali na zamah ekstremiteta, pa na loptu, potrebno je, kod bočnog voleja, telo dovesti u stabilan položaj radi dinamike i ravnoteže. Zadnji korak treba produžiti napred i u stranu, da bi stajnu nogu postavili celim stopalom na podlogu. Taj korak daje optimalnu amplitudu zamajne noge. Ako stajna noga nije stabilna,

može doći do pada. Produženjem zadnjeg koraka u stranu, povećava se poluga, a abdukciju u kuku moguće je povećati nagibom trupa u suprotnu stranu od zamajne noge.



Slika 8.1 Kontra zamah ramenog pojasa



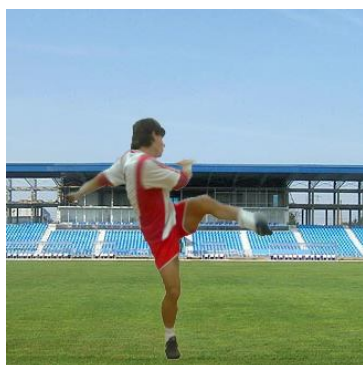
Slika 8.2 Kontra zamah nogom



Slika 8.3 Zasuk trupom u smeru udarca



Slika 8.4 Zamah natkolenice i potkolenice



Slika 8.5 Stabilizacija stajne noge

Zamah nogom može se vršiti kao završna faza pripremnih pokreta (zalet, okret, zasuk) ili kao samostalna radnja, u slučajevima kada otpada mogućnost pripremnih pokreta. Karakteristično je da zamah nogom počinje uvek iz povoljnog flektiranog položaja u koji noga dolazi kontra zamahom. Da bi se što povoljnije prenela snaga i ubrzanje pokreta preko udarne površine stopala na loptu, u procesu zamaha potrebno je da u momentu udarca dođe

do opružanja noge, kao i do fiksiranja udarne površine, što omogućuje potpuni prenos sile i brzine zamaha na loptu. Kod bočnog voleja, zamah noge je bočni, a može se primeniti iz nagiba tela u stranu i nazad, zasukom trupa i fiksacijom stajne noge. Kontra zamahom trupa stvara se mogućnost za okret i zasuk, tako da impuls polazi iz ramenog pojasa na mišiće trupa, pa na kuk. Veća masa gornjeg dela tela prenese se na kuk u rotaciono kretanje i zatim dalje sve do lopte. Uz maksimalno ubrzanje zamajne noge, potrebno je osigurati i fiksaciju zamajne noge u svim zglobovima neposredno pre dodira sa loptom.

Brzina zamaha, kod ove vrste udaraca, zavisi isključivo od prostora i raspoloživog vremena igrača pre udarca. Ubrzanje kretanja u vezi je sa nagomilavanjem energije i njen prenos sa tela na loptu. Kod bočnih voleja i drugih snažnih udaraca, govori se o prenosu energije proizvedene kretanjem tela i njegovih delova na loptu. Kod toga su važna dva faktora. Prvi je, postizanje odgovarajućeg ubrzanja tela i njegovih delova (noga), a drugi, obezbeđivanje najoptimalnijih načina prenosa sile sa jednog tela (noga) na drugo (lopta).

Kada igrač ima na raspolaganju veći prostor i duže vreme delovanja, kod zamaha postoji detalj koji je važan, ukoliko se želi postići veća snaga udarca. Kad igrač vrši zalet, onda su njegovi koraci kraći, s obzirom na to da u relativno kratkom prostoru treba dobiti ubrzanje tela. To ubrzanje dobija se češćim delovanjem impulsa odrazne noge koja progresivno deluje na težište tela. Međutim, zadnji korak, tj. korak neposredno pre udarca, treba da bude nešto duži. Produžetak koraka treba da ide na račun otklona karlice, koja u tom slučaju ima vertikalni položaj na pravac kretanja. Zadnji korak može se produžiti i na račun pomeranja karlice nazad-napred oko uzdužne ose. Pomeranje karlice nazad vrši se u stranu zamajne noge. Na račun toga, povećava se amplituda pokreta. Sila na taj način deluje na dužem putu, za duže vreme, pa to omogućuje snažniji udarac.



Slika 9.1 Početak zamaha



Slika 9.2 Kontra zamah



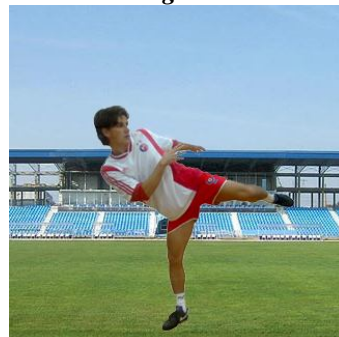
Slika 9.3 Flektiran položaj noge



Slika 9.4 Nagib tela u stranu



Slika 9.5 Zasuk trupa



Slika 9.6 Stabilizacija stajne noge



Slika 9.7 Zasuk trupa i fiksacija stajne noge

Moment prenosa sile na loptu kod udarca dolazi do prenosa kinetičke energije sa tela na loptu. Pripremnim pokretima igrač akumuliranu kinetičku energiju prenosi s tela na nogu, iz viših na niže delove noge, a od njih na loptu. Stečena energija prenosi se s veće mase na manju.

U momentu udarca po lopti dolazi do opružanja noge i njenog fiksiranja u zglobovima. Ova fiksiranja noge zahtevaju određeni princip mehanike. Naime, kad jedno telo deluje na drugo, onda se drugo, uvek suprotstavlja delovanju prvog tela sa istom silom, ali u suprotnom pravcu nego što je pravac delovanja sile prvog tela (III Njutnov princip). Ukoliko,

noga nije fiksirana u momentu kontakta sa loptom, već je labava, odnosno mekana, onda će ona delovati amortizujuće, pa će se u tom slučaju izgubiti deo sile.

U momentu kontakta sa loptom, u svim delovima noge dolazi do naglog pada brzine. Sile, koje tog momenta deluju na težište natkolenice, potkolenice i stopala, nemaju smer delovanja u pravcu lopte, već u suprotnom pravcu. Ove sile ne ubrzavaju, već koče kretanje u delovima noge. Tako dolazi do maksimalnog opružanja cele noge i njenog fiksiranja. Ta okolnost omogućava, gotovo u celini, prenos sile zamaha na loptu i time savladavanje adekvatnog otpora koji pruža lopta sili zamaha noge.

Prilikom udarca po lopti, telo treba da se postavi u stabilan položaj. Tu stabilnost osigurava na podlozi stajna noga, jer služi kao oslonac prilikom vršenja zamaha po lopti. Određenu stabilnost osigurava i zamajna noga koja se neposredno pre kontakta sa loptom opruži u svim zglobovima. Ona se, tog momenta pretvara u jedinstvenu polugu od kuka, pa do opruženog stopala. Stabilnost se, takođe, postiže i kompenzatornim kretanjem drugih delova tela.

Delovanjem ubrzanja zamajne noge pre kontakta sa loptom, kao i samom fiksacijom, stvaraju se preduslovi da se udarna sila te noge prenese na površinu lopte. Ta sila će biti, u potpunosti, prenesena na loptu i brzinu kretanja lopte, ako je pogodena u središte lopte. Ako nije tako pogodena, onda se sila deli na dve komponente: na radijalnu i tangencijalnu. Tangencijalna komponenta uzrokuje rotaciju lopte, što smanjuje maksimalnu brzinu translacije lopte.



Slika 10. Prenos sile na loptu – opružanje noge i fiksacija u zglobovima

Završnu fazu pokreta sačinjavaju pokreti koji započinju nakon momenta udarca po lopti. Ovi pokreti se vrše kada je lopta već počela da se kreće posle udarca. Zadatak ove faze je da smanji inerciju kretanja tela i njegovih delova, i da osigura dalje kretanje igrača posle udarca. U ovoj fazi dolazi do postepenog opuštanja mišića i brzine pokreta. Težina tela prenosi se sa stajne noge na zamajnu.

Igrač koji dobro vlada tehnikom, osigurava maksimalno angažovanje muskulature u vrlo kratkom vremenskom periodu, neposredno pre udarca i u momentu prenosa sile zamaha na loptu. Ostali pokreti, kako oni pre, tako i oni posle, postaju mekani, opušteni i međusobno povezani. Na taj način udarac po lopti dobija dinamičko-ritmičku celinu. Na početku su pokreti mekani, sa postepenim ubrzanjem i maksimalnom napetošću u momentu udarca. Nakon toga, dolazi do postepenog opuštanja tela i usporavanja kretanja. Ovakav tok kretanja omogućava potpuni prenos sile zamaha na loptu i sigurnost upravljanja pravcem kretanja kao i ekonomičnost pokreta.

Igrači vrlo često greše u tome što prebrzo ili predugo uspore kretanje noge u momentu udarca. Na taj način, oni preseku dinamičnu celinu pokreta, što ne stvara optimalne uslove za prenos snage zamaha, čime se smanjuje mogućnost upravljanja pravcem kretanja. Ukoliko udarna površina, posle momenta njenog zahvata po lopti, prati kretanje lopte, ona će u tom slučaju duže delovati na loptu. To se reflektuje na brzinu, kao i na pravac kretanja lopte.



Slika 11.1 Završna faza nakon udarca



Slika 11.2 Smanjenje inercije kretanja



Slika 11.3 Prenos težine tela sa stajne na zamajnu nogu

2.6. Mehanika kontakta stopala i lopte

Uspešnost udarca zavisi i od mehaničkih karakteristika stopala i lopte prilikom udarca. Uzimajući u obzir mehaniku kontakta stopala i lopte, brzina lopte može biti predstavljena kao $V_{lopte} = V_{stopala} * \frac{[M]}{[M+m] + e}$

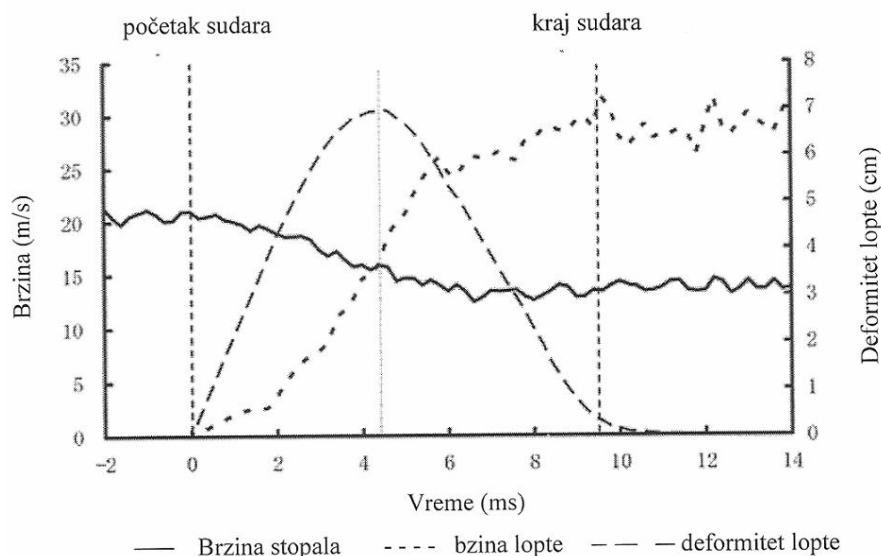
$$[M+m]$$

Gde je V_{lopte} - brzina lopte, $V_{stopala}$ - brzina stopala, M - efektivna masa nogom se vrši udarac, m - masa lopte i e - koeficijent povratnog efekta sudara. Efektivna masa noge kojom se vrši udarac je maseni ekvivalent udarnog objekta (u ovom slučaju stopalo i potkolenica) i povećava se kako noga postaje kruća, usled mišićne aktivacije. $[1+ e]$ pokazuje snagu stopala prilikom udarca. Veća sila udarca pogoduje snažnijoj plantarnoj fleksiji stopala.

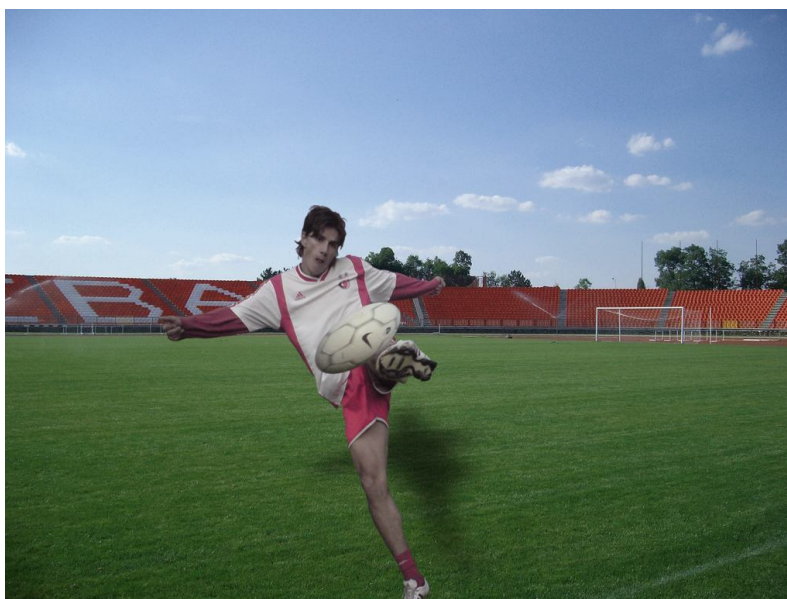
Uzimajući uobičajene vrednosti za mase stopala i lopte, vrednost $[M]/[M+m]$ bi bila 0,8, izraz $[1+ e]$ bi imao vrednost oko 1,5. U vezi sa tim, lopta bi letela 1,2 puta brže od brzine stopala **$V_{lopte} = 1,2 * V_{stopala}$**

Najsveobuhvatniji opis kinematičkih parametara donjih ekstremiteta pre, tokom i posle kontakta stopala sa loptom (30 ms pre i 30 ms posle kontakta), i generalni opis kontakta dali su Nunome i saradnici (2006). Kontakt stopala i lopte traje između 9 i 12 ms. Maksimalni deformitet lopte je 6.8 cm i pojavljuje se 4.3 ms nakon inicijalnog kontakta sa loptom,

dok maksimalna sila reakcije lopte, izračunata preko ubrzanja centra gravitacije lopte, iznosi 2847 N.



Slika 12. Prikazana je brzina kretanja stopala tokom faze kontakta i vidi se da stopalo dostiže najveću brzinu u trenutku samog kontakta sa loptom. Brzina, tokom i posle kontakta, lagano opada. Ipak,, održava određenu konstantnost tokom kontakta. Deformitet lopte je najveći u sredini faze kontakta i dostiže skoro 7 cm. Brzina lopte se linearno povećava sve do 2 ms posle pika deformiteta nakon čega se i dalje povećav, ali smanjenim intenzitetom. Brzina lopte najveću vrednost dostiže u trenutku kada se završava faza kontakta, nakon čega se u sledećih 5 ms kreće ravnomerno.



Slika 13. Moment kontakta stopala i lopte

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Akvizicija kinematičkih podataka iz područja fudbalske tehnike, koja se zasniva na primeru različitih stereofotogrametrijskih postupaka, kao što su brza kinematografija, video zapisi sa *online* beleženjem automatskih lokacija, video zapisi sa određivanjem anatomske lokacije kao i fotodetektorski sistemi, tek u današnje vreme postaju aktuelni. Ipak, istraživanja tehnike udarca po lopti veoma su aktuelna i mnogi autori su ispitivali kinematiku pokreta, elektromiografsku aktivnost donjih ekstremiteta, mišićnu snagu i brzinu lopte, kao i kretanje segmenata donjih ekstremiteta prilikom udarca. Sledeća istraživanja su predstavljena, kako bi se dobijeni rezultati i zakonitosti doveli u vezu sa bočnim volej udarcem.

Različiti pristupi istraživanja tehnike udarca po lopti, doveli su do različito ustanovljenih zakonitosti. Očekuje se da pojedine zakonitosti važe i pri izvođenju bočnog volej udarca. Tako, u radu Barfield i saradnici (2002), autori su pokušali da utvrde da li razlike postoje, prilikom udarca po lopti prednjom stranom stopala, dominantnom i nedominantnom nogom, između fudbalerki i fudbalera. U ispitivanju je učestvovalo šest vrhunskih fudbalerki i dva vrhunska fudbalera. Ispitanici su koristili zalet sa nekoliko koraka, pod uglom od 45-60° u odnosu na položaj lopte. Lopta se nalazila između dve tenziometrijske platforme, a ispitanici su izvodili udarac prednjom stranom svoda stopala, maksimalnom snagom, u mrežu koja je bila zakačena i visila sa plafona. Brzina lopte bila je zavisna varijabla. Pored brzine lopte, izračunate su vrednosti šest dodatnih prediktorskih varijabli brzine lopte, kod udarca prednjom stranom svoda stopala. Kinematičke varijable (maksimalna brzina vrha drugog prsta stopala, vreme kontakta sa loptom, brzina lopte nakon udarca, srednja brzina vrha drugog prsta stopala, srednje ubrzanje vrha drugog prsta stopala i brzina skočnog zgloba tokom kontakta stopala sa loptom) doprinele su većoj brzini lopte kod fudbalera. U rezultatima je primećen jedan izuzetak: jedna fudbalerka je izvodila udarac po lopti brže od dvojice fudbalera i demonstrirala slične ili više vrednosti određenih kinematičkih varijabli u odnosu na fudbalere. Na osnovu dobijenih rezultata, muškarci su imali generalno veće kinematičke promenljive pri zamahu nogom, što je vodilo ka većoj brzini lopte u odnosu na ženske ispitanike. Za razliku od prethodnog, u radu Masuda i saradnici (2005), autori su pokušali da utvrde povezanost između mišićne snage i brzine lopte u odnosu na tri različita ugla

zaleta prema lopti. Pažnja je bila usmerena i na stajnu i na zamajnu nogu fudbalera. Uzorak ispitanika bio je podeljen u dva subuzorka, u odnosu na nivo usvojenosti tehnike udarca po lopti (subuzorak sa višim nivoom usvojenosti tehnike udarca i subuzorak sa prosečnim nivoom usvojenosti tehnike udarca). Ugao zaleta zamajne noge prema lopti predviđen je da bude slobodan, 1.57 rad i 2.36 rad u odnosu na pravac leta lopte, neposredno nakon udarca po lopti. Merena je brzina kretanja lopte i preciznost pogodaka u metu. Maksimalna izokinetička i koncentrična mišićna snaga merena je kroz pokrete u zglobu kolena (fleksija/ekstenzija) i u zglobu kuka (fleksija/ekstenzija i abdukcija/addukcija), upotrebom izokinetičkog dinamometra. Različiti uglovi zaleta prema lopti zahtevaju različit mišićni potencijal i stajne i zamajne noge. Naročito zalet pod najvećim uglom zahteva veliku ekstenziju u zglobu kuka i mišićnu snagu stajne noge u cilju postizanja veće sigurnosti ravnotežnog položaja. Takođe, nivo usvojenosti tehnike udarca po lopti, može da utiče na ostvarenu mišićnu snagu prilikom izvođenja udarca po lopti. Za razliku od prethodnog, u radu Shinkai i saradnici (2006), autori su ispitivali brzinu lopte neposredno nakon maksimalnog udarca po lopti sredinom stopala dominantne i nedominantne noge, kao i povezanost između brzine kretanja lopte sa različitim vrednostima biomehaničkih varijabli koje su se koristile u istraživanju. Uzorak ispitanika sačinjavalo je sedmoro profesionalnih fudbalera, a tehnika udarca po lopti snimana je *high speed* kamerom sa 400 frejmova u sekundi. Izračunate su vrednosti kinematičkih i kinetičkih parametara donjih ekstremiteta. Koeficijent restitucije između stopala i lopte izračunat je na osnovu stope razvoja mišićne sile fleksora zgloba kuka i ekstenzora zgloba kolena, upotrebom Kin-Com dinamometra. Veće brzine lopte udarcem stopala dominantne noge u odnosu na brzine lopte nakon udarca stopalom nedominantne noge, rezultat su veće brzine stopala i veće vrednosti koeficijenta restitucije u trenutku sudara. Navedene veće vrednosti brzine, posledica su veće količine izvršenog rada potkolenice, a koji je omogućila ugaona brzina natkolenice. U zaključku, autori navode, da je razlika između dominantne i nedominantne noge u maksimalnoj brzini lopte neposredno nakon udarca po lopti, uzrokovana i boljem međusegmentalnom obrascu kretanja i prenosom brzine stopala na loptu u trenutku udarca. Za razliku od prethodnog, u radu Opavsky (1988), autor je ispitivao razlike između udarca po lopti maksimalnom snagom, bez prethodnog zaleta i udarca po lopti maksimalnom snagom, sa zaletom. Autor je utvrdio srednju maksimalnu vrednost brzine kretanja lopte od 23 ms, kod udarca bez prethodnog zaleta i 30 ms kod udarca sa zaletom od 5 do 8 trkačkih koraka. U radu nisu dati podaci o brzinama kretanja ispitanika pre udarca po lopti. Očekuje se da

nivo usvojenosti tehnike pri bočnom volej udarcu podrazumeva veću brzinu lopte. Igrači sa boljom tehnikom izvođenja imaju bolje slaganje brzina što bi, po kriterijumu efikasnosti, trebalo da rezultuje većom brzinom kraja kinetičkog lanca (stopala). Drugi autori su istraživali udarac po lopti prednjom stranom stopala i u okviru njega različite kinematičke varijable donjih ekstremiteta kao i EMG aktivnost. Pojedine varijable možemo identifikovati i prilikom bočnog volej udarca. U radu Kellis i saradnici (2004), autori su ispitivali kinematiku zgloba kolena, elektromiografsku aktivnost (EMG) mišića donjih ekstremiteta i silu reakcije podloge (GRF), prilikom udarca po lopti prednjom stranom stopala i različitim uglovima zaleta prema lopti. Deset fudbalera izvodilo je maksimalni udarac po lopti, a navedeni uglovi odnosili su se na početni položaj fudbalera i položaj lopte i iznosili su: 0 rad (K0), 0.81 rad (K45), i 1.62 rad (K90). Varijable GRF, 3-D kinematike i EMG aktivnosti vastus medialis-a (VM), vastus lateralis-a (VL) i biceps femoris-a (BF), očitavane su i snimane. Udarci po lopti sa velikim prilaznim uglovima lopti povećavali su medijalnu i posteriornu reakciju podloge (GRF), što je bio nagoveštaj promene položaja (stava) fudbalera kod udarca po lopti i što je prouzrokovalo promenu ugla sigurnosti ravnotežnog položaja tela. Takve udarce po lopti, pratile su značajne promene vrednosti kinematičkih varijabli kolena, povećana aktivnost BF i velika opterećenja kolena zamajne noge. Pri izvođenju bočnog volej udarca, koji se suprotno od instep udarca izvodi u neravnotežnim uslovima, neophodno je sprovesti stabilizaciju noge i tela. Tu stabilnost osigurava stajna noga na podlozi kao oslonac pri zamahu, i zamajna noga koja je u fazi ekstenzije u svim zglobovima pre kontakta sa loptom. Stabilizaciji sistema doprinose i kompenzatorna kretanja trupa i ruku. Za razliku od prethodnog, u radu Manolopoulos i saradnici (2006), autori su istraživali efekat programa treninga u fudbalu (snage i tehnike) na kinematičke varijable i elektromiografsku aktivnost (EMG) kod udarca po lopti prednjim svodom stopala. Deset fudbalera (amatera, starosti 19.9 ± 0.4 godina, telesne težine 74.8 ± 9.1 kg, telesne visine 177.4 ± 6.7 cm) sačinjavalo je eksperimentalnu grupu, dok je deset fudbalera (starosti 21.6 ± 1.3 godine, telesne težine 71.5 ± 6.7 kg, telesne visine 175.2 ± 3.4 cm) sačinjavalo kontrolnu grupu. Eksperimentalna grupa je sprovela desetonedeljni specifični fudbalski program treninga koji je podrazumevao vežbe snage i tehnike. Svi ispitanici izvodili su udarce po lopti prednjom stranom stopala, koristeći zalet od dva koraka. Kinematičke i EMG varijable šest mišića zamajne i stajne noge praćene su i snimane neposredno pre i posle treninga. Takođe, mereni su i maksimalni izometrijski mišićni potencijal kod *leg press-a*, sprintersko trčanje na 10 m i vožnja bicikl ergometra

maksimalnom brzinom. Analiza varijanse sa ponovljenim merenjima, pokazala je da je kod eksperimentalne grupe statistički značajno povećana maksimalna brzina lopte, linearna brzina stopala i skočnog zgloba zamajne noge, kao i ugaona brzina svih zglobova zamajne noge, kod udarca po lopti. Trening nije imao statistički značajne efekte na vrednosti EMG-a, izuzev uvećanja prosečne vrednosti EMG-a mišića vastus medialis-a, kod koga su se maksimalni izometrijski mišićni potencijal i vreme sprinta, značajno poboljšali nakon treninga. Ovo možemo potvrditi i u radu Ozaki i Aoki (2007), gde su autori koristeći kinematičku i elektromiografsku metodu pokušali da utvrde vrednosti kinematičkih parametara lopte i aktivnost mišića donjih ekstremiteta koji su aktivni kod udaraca po lopti. Ispitanici su koristili udarac sa neznatnom rotacijom i izraziti „felš” udarac unutrašnjom stranom stopala, kao i udarac prednjom stranom stopala. U zaključku su predložili da kod udarca po lopti unutrašnjom stranom stopala, neposredno nakon udarca, treba da se izvrši spoljna rotacija u zglobu kuka noge kojom se izvodi udarac. Veće opterećenje mišića aduktora natkolenice, odnosno procenat mišićne aktivnosti mišića adductor longus-a bio je veći kod udaraca sa neznatnom rotacijom lopte u odnosu na izraziti „felš” udarac unutrašnjom stranom stopala. Za razliku od prethodnog, u radu Dorge i saradnici (1999) ispitivana je EMG aktivnost mišića iliopsoas i kinetika noge tokom udarca iz mesta fudbalera. Predloženo je da tokom udarca, optimalno obrnuti snagu obrtnog momenta na najproksimalniji segment pre nego što se dostigne maksimalna brzina segmenta. Ovaj predlog je zasnovan na podacima simulacije obrnute sile u bacanju preko ruke. Raniji kinetički opisi udarca napred u borilačkim veštinama i udarca lopte pre nego što dodirne zemlju ukazuju da nema obrtnog momenta i da nema dobijanja na brzini sa usporavanjem segmenta natkolenice. Trenutno znanje o mehanizmima koji generišu segmente pokreta tokom udarca zasnovano je na klasičnoj inverznoj dinamici. Računanje net mišićne snage oko zgloba obezbeđuje mogućnost da se proceni koji mišići generišu taj pokret. EMG snimci mogu da daju informaciju o povremenim aktivnostima mišića. Iako je EMG snimljen u iliopsoas tokom veoma sporih pokreta, EMG snimci iliopsoas nikada nisu dobijeni tokom udarca iako se veruje da ovaj mišić značajno doprinosi relativno velikoj net sili fleksora kuka tokom udarca. Prema tome, svrha gore pomenute studije bila je da se elaborira metod i snimci unutar mišićne EMG aktivnosti iliopsoasa i da se dovede u vezu ova aktivnost na kinetiku tokom udarca iz mesta u fudbalu. Dobijeni rezultati studije Dorge i saradnici (1999), ukazuju da ugaona brzina natkolenice i potkolenice tokom pokreta udarca oslikava proksimalnu-distalnu segmentnost pokreta. Na početku je ugaona brzina natkolenice

bila blizu nule, dok je ugaona brzina potkolenice bila negativna. Zglob kolena je bio u ekstenziji u ovoj tački, pošto je ugaona brzina zgloba kolena jednaka razlici između ugaonih brzina natkolenice i potkolenice. Kada su ugaone brzine jednake, nema pokreta u zglobu kolena. Tokom udarca u fudbalu ova tačka se postiže u vremenu maksimalne ugaone brzine natkolenice. Nakon ovoga, ugaona brzina natkolenice se smanjila prema nuli, dok se ugaona brzina potkolenice povećavala do maksimalnog nivoa 31.7 rad (27.1 – 33.1). Ugaona brzina 31.7 radijana jednaka je 1816°. Net obrtni momenat mišića kuka i kolena bili su pozitivni skoro tokom celog perioda, što ukazuje na dominantnost fleksora i ekstenzora. Kada je ugaona brzina kuka bila pozitivna, javljao se obrtni moment fleksora mišića zgloba kuka, osim na samom završetku. Obrtni moment i njegov obrt oko zgloba kuka je iznenadna promena znaka obrtnog momenta koji ne može da se razmatra u ovoj studiji. Obrtni moment fleksora pre *impacta* bio je nizak i trajao je suviše kratko da bi uticao značajno na dinamiku. Vrh obrtnog momenta mišića kuka je bio od 217.3 Nm do 320.3 Nm (srednja vrednost 271.3 Nm) i ovo je primećeno u periodu ekstenzije kolena. Vrh obrtnog momenta kolena bio je od 101.0 Nm do 194.6 Nm (srednja vrednost 161.0 Nm) i primećen je pre početka ekstenzije kolena. Izračunat je rad raznih obrtnih momenata kao i integral obrtnog momenta x ugaona brzina. Ovaj rad je bio pozitivan od strane net mišićnog obrtnog momenta (87.60 – 97.32 %), ugaona brzina natkolenice (16.28 – 21.62 %), gravitacija na nogu (5.43 – 8.82 %) negativno ugaono ubrzanje natkolenice (-3.57 %) kao i linearno ubrzanje kuka (-9.30 % do -25.49 %) izvodio je negativan rad na nogu (P= 0.0169). EMG rezultati su pokazali redosled inervacije od proksimalnog do distalnog kraja kinetičkog lanca. Iliopsoas je bio aktivan tokom celog pokreta, dok je rectus femoris bio aktiviran malo kasnije, a vastus lateralis još kasnije. Aktivnost ova tri mišića često je bila blizu 100 %. U periodu gde je ugaona brzina natkolenice bila pozitivna do impakta, aktivnost iliopsoasa je imala srednju vrednost 79.4 % dok je aktivnost rectus femoris bila 46.3. Krajnja vrednost iliopsoas je bila 98.3 % dok je krajnja vrednost rectus femoris bila 93.7 %. U istom periodu bilo je samo malo aktivnosti u gluteus maximus i to 10.2 %. Tačno pre impakta aktivnost ova dva mišića je dostigla vrh vrednosti od 40.1 % (biceps femoris) i 27.1 procenat (gluteus maximus). Aktivnost vastus lateralis je bila 81.7 % u periodu ekstenzije kolena sa krajnjom vrednošću od 101.6 %. Pri izvođenju bočnog volej udarca podrazumeva se velika amplituda pokreta, što obuhvata u trenajnom delu praćenje EMG aktivnosti. Različiti su početni uslovi za iliopsoas pri instep udarcu ili bočnom volej udarcu. Takođe, različite su dužine mišića (različiti stepen mišićne

aktivacije na početku pokreta između instep udarca i bočnog volej udarca), koje predpostavljaju različite aktivacije. Pri instep udarcu važi povratni režim rada, a bočni volej udarac „prolazi” kroz loptu. Pri izvođenju bočnog volej udarca u egzekutivnoj fazi dolazi do kontakta stopala i lopte, pa se dobijeni rezultati mogu porediti sa rezultatima rada Shinkai i saradnici (2007). Autori su istraživali kretanje stopala zamajne noge u 3D, kroz pokrete plantarne / dorzalne fleksije, abdukcije / addukcije i spoljne i unutrašnje rotacije, kretanje centra gravitacije lopte tokom faze sudara sa prednjom stranom stopala, kao i uzajamno dejstvo kretanja stopala i ponašanja lopte tokom faze sudara. Uzorak ispitanika sačinjavalo je sedmorica profesionalnih fudbalera. Za detaljnu analizu uzajamnog dejstva kretanja i ponašanja lopte tokom faze sudara, korišćene su dve *high speed* kamere (NAC Inc., Tokyo, Japan) pri 500 Hz. Deformacija lopte i položaj centra gravitacije lopte, snimana je u sagitalnoj ravni. Stopalo zamajne noge bilo je u plantarnoj fleksiji i okrenuto upolje tokom kontakta sa loptom. Detaljnije rečeno, stopalo zamajne noge bilo je u neznatnoj dorzalnoj fleksiji na početku sudara i počelo je sa plantarnom fleksijom nakon sredine faze sudara. Maksimalna sila koja je delovala na stopalo, skoro da se podudarila sa maksimumom deformacije lopte, a intenzitet maksimalne sile dostigla je bezmalo 2700 N. Ovo istraživanje pokazalo je da je stopalo zamajne noge bilo prisiljeno u pokret plantarne fleksije silom koju je proizvela lopta. Brzina lopte premašila je brzinu stopala zamajne noge nakon što je lopta bila maksimalno deformisana. Autori su naveli da stopalo zamajne noge ne uvećava direktno brzinu lopte nakon momenta njene maksimalne deformacije, već je to posledica restitucije lopte. Navedena istraživanja imaju značaj kada biomehanička analiza bočnog volej udarca identifikuje probleme izvođenja pokreta i koji se mogu u toku trenaznog procesa podići na viši nivo. Zbog ograničenosti prilikom testiranja i složenosti ukupne telesne kontrole, postoji vrlo malo studija koje detaljno opisuju bočni volej udarac u fudbalu. U radu Shan i Westerhoff (2005) autori su pokušali da nadomeste ovaj nedostatak obezbeđivanjem 3D kinematičkih karakteristika ove tehnike koristeći 15-segmentnih model tela i istražujući moguće parametre za kvantitativne procene kvaliteta udarca. Istraživanje je obuhvatilo sinhronizaciju 3 merna sistema – snimanje pokreta (VICON system), video recorder, zvučni zapis, kao i biomehanička modelovanja. VICON system prati 42 reflektujuća markera postavljena na telu subjekta i 3 na fudbalskoj lopti. Snimljeni podaci su korišćeni za kreiranje 3D rekonstrukcije kretanja i kao ulaz za 15-segmentni model kako bi se izračunao obim pokreta zglobova i drugih parametara. Video snimak i zvučni zapis poslužili su za standaradnu analizu

spoljašnjih pokreta tela. Za testiranje je odabrano 5 muškaraca, reprezentativaca, mlađih od 26 godina. Svaki ispitanik je izvršio 3 udarca dominantnom nogom. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da gornji deo tela ima veliki uticaj prilikom volej udarca u fudbalu, što neka ranija istraživanja nisu pokazala. Rotacija trupa i kuka pre odskoka i kretanje u suprotnom smeru trupa i kukova tokom faze leta, kao i sama faza leta su ključni za kvalitetno izvođenje bočnog volej udarca. Takođe, utvrđeno je da je značajan element za izvođenje bočnog volej udarca tajming. Za razliku od prethodnih, u radu McCrudden i Reilly (1993) autori su raspravljali o EMG analizi drop kick udarca, ispitujući jačinu mišića noge koja udara loptu kao i anaerobnu moć. Oni nisu odrađivali tačnu visinu lopte prilikom koje se izvodi udarac jer bi onda drugačiji udarac prikazao i drugačije kinematičke parametre. Na primer, brza promena ugla kod potkolenice znači i veliku brzinu stopala, što je veoma važno prilikom izvođenja kvalitetnog udarca. Cilj ovog istraživanja je bio da se ispita mehanika zamaha noge koja izvodi bočni volej udarac 3D kinematografskom tehnikom. Svih 5 igrača koji su učestvovali u ovom istraživanju koristili su desnu nogu za udarac. Nakon kratkog zagrevanja, igrači su izvodili bočne volej udarce koristeći dominantnu desnu nogu maksimalnom snagom, sa ciljem da pogode rukometni gol koji se nalazio ispred njih. Od ispitanika je traženo da izvedu udarac 5 puta pod prilaznim uglom od 45 stepeni prethodno praveći 3 koraka. Dve elektronski povezane kamere korišćene su da zabeleže udarac. Digitalni sistem korišćen je da automatski odredi anatomske orijentire uključujući čelo, bočne strane glave, ramena, laktove, zglobove, kukove, kolena, članke, pete i nožne prste. Centar lopte je takođe označen u početnoj, statičnoj poziciji. Svaki segment ima dva termina ugaonog momenta celog tela, pa je tako jedan od njih lokalni ugaoni momenat, a drugi je prenosni ugaoni momenat. Prvi termin opisuje rotaciju segmenta oko sopstvenog centra gravitacije, dok je drugi, prenosni, stvoren od strane centra gravitacije prvog segmenta koji rotira oko centra ukupne gravitacije tela. Rezultati ukazuju da je brzina lopte bočnog volej udarca, udarena sa manje visine, bila sporija nego prilikom udarca lopte na većoj visini. U odnosu brzine između stopala i lopte, istraživanje je pokazalo da što je lopta više, kraći je kontakt. Dalje se navodi da što je lopta više pozicionirana pri izvođenju volej udarca, stopalo će biti manje kruto u kontaktu sa loptom. Tokom faze zamaha, izvedeni voleji trajali su duže kada je lopta pozicionirana na većoj visini, u odnosu na niže pozicionirane lopte. Bočni volej udarac izveden pri većoj visini lopte imao je veću ugaonu brzinu stopala i najniži moment inercije stopala. Kao rezultat toga udarac niže lopte imao je koristi momenta inercije stopala i

visokog ugaonog momenta tako što se povećala brzina lopte. Tako visoka brzina lopte i smanjeno vreme zamaha noge predodrženo je za udarac niže pozicioniranih lopti. Kao zaključak ovog istraživanja može se navesti da je brzina lopte veća prilikom udarca niže lopte, a potrebno je i manje vremena za zamah nogom kojom se udara lopta kada je ona pozicionirana visoko. Za razliku od prethodnih, u radu Kellis i Katis (2007), autori su naveli da je razumevanje biomehanike udaraca po lopti naročito važno u sprovođenju i kontroli trenajnog procesa kod fudbalera. Cilj ovog rada bio je da utvrdi slabosti dosadašnjih istraživanja i predstavi načine istraživanja pomoću kojih bi se te slabosti prevazišle. Udarac po lopti u fudbalu predstavlja pokret u kome učestvuje više zglobova i segmenata tela i to od proksimalnih ka distalnim. Krajnja brzina, putanja i rotacija lopte u velikoj meri zavisi od kvaliteta kontakta stopalo -lopta. Snažni udarci se postižu kroz veliku brzinu stopala i visoki koeficijent restitucije. Rezultati ukazuju da se preciznost pogađanja cilja udarcem po lopti postiže sporijim kretanjem i udarcem stopala po lopti i manjom brzinom kretanja lopte nakon udarca. To važi za uslove kada je kriterijum preciznost, ali za kriterijum efikasnost podrazumeva se (naročito za fudbal) i brzina što je neophodno pri bočnom volej udarcu. Prema aspektu neposredne dugogodišnje uloge u igri, u radu Amiri-Khorasani i saradnici (2009), su istraživli biomehanički odgovor na udarac gornjim delom stopala poredeći rezultate između različitih pozicija kod profesionalnih igrača u fudbalu. Svaku poziciju igrača karakteriše rad velikog inteziteta, spretnost, brzih pokreta, skokova (Little and Williams, 2005; Little and Williams, 2006). Prema ovim karakteristikama i fizičkim zahtevima počelo se sa istraživanjima efekata različitih pozicija igrača u fudbalu u ovim fizičkim aspektima. Njihovo istraživanje je ukazalo da tokom fudbalske utakmice špic igrač pokriva najveću ukupnu razdaljinu od bilo kog igrača na drugim pozicijama. Ovo je potvrđeno radom Reilly i Thomas (1976) koji su utvrdili da vezni igrači pokrivaju najveću srednju vrednost razdaljina (9805 metara) tokom igre, kao i veći broj sprinteva od bilo kog drugog igrača. Odbrana, sa druge strane, pokriva manje ukupne razdaljine i izvodi trčanje manjeg inteziteta nego igrači na drugim pozicijama, što je verovatno u bliskoj vezi sa taktičkim ulogama (Bangsbo, 1994; Bloomfield i sar., 2007). Špic igrači pokrivaju razdaljinu visokog inteziteta koja je jednaka distanci spoljnih i veznih igrača, i izvode veći broj sprinteva od veznih i igrača odbrane (Davis i sar., 1992; Mohr i sar., 2003). Većina istraživača, sa druge strane, proučavala je biomehaniku veštine igrača. Oni su sprovodili istraživanja o 2-dimenzionalnim i 3-dimenzionalnim biomehaničkim karakteristikama segmenata i zglobova tela igrača. Jedna od

ovih veština je udarac gornjim delom stopala, koja predstavlja jednu od najvažnijih i najproučavanijih veština od svih akcija koje se izvode tokom fudbalske igre (Markovic i sar., 2006; Dorge i sar., 1999). Razni faktori određuju uspešnost izvođenja udarca gornjim delom stopala. Najznačajniji su: razdaljina od mesta udarca do gola, tip udarca, otpor vazduha, kao i tehnika udarca (Kellis i Katis, 2007). Prethodni istraživači su proučavali biomehaniku udarca gornjim delom stopala pod različitim uslovima, ipak nedostatak je biomehaničko poređenje udarca među raznim pozicijama fudbalera. Svrha ovog rada je da se istraži biomehanika donjih segmenata ekstremiteta tokom udarca kod profesionalnih igrača – napadača. Pretpostavka je da napadači imaju bolji biomehanički odgovor tokom udarca gornjim delom stopala u odnosu na igrače odbrane i vezne igrače usled njihove uloge u fudbalskoj igri. Dobijeni rezultati studije Amiri-Khorasani i saradnici (2009), kinematičkog i kinetičkog odgovora pri udarcu gornjim delom stopala, između tri pozicije (odbrana, vezni, napad) ukazali su da je bilo statistički značajnih razlika između veznih i odbrane i to: u ugaonoj brzini donjeg dela potkolenice ($2240.79 \pm 29.001 \text{ 0.s}^{-1}$ i $1702.39 \pm 114.2608 \text{ 0.s}^{-1}$) ugaona brzina natkolenice ($1055.20 \pm 12.03 \text{ 0.s}^{-1}$ i $780.85 \pm 58.35 \text{ 0.s}^{-1}$) i brzina lopte ($30.14 \pm 5.40 \text{ m.s}^{-1}$ i $22.19 \pm 2.80 \text{ m.s}^{-1}$). Statistički značajne razlike javljaju se između napadača i odbrambenih bilo je u ugaonoj brzini donjeg dela noge ($37.29 \pm 1.75 \text{ 0.s}^{-1}$ i $1702.39 \pm 114.26 \text{ 0.s}^{-1}$), ugaone brzine natkolenice ($994.004 \pm 47.440 \text{ 0.s}^{-1}$ i $780.85 \pm 58.35 \text{ 0.s}^{-1}$) i brzina lopte ($29.29 \pm 1.56 \text{ ms}^{-1}$ i $22.19 \pm 2.80 \text{ ms}^{-1}$). Rezultati kinetike pokazali su da je bilo značajnih razlika između veznih i odbrambenih u net momentu potkolenice ($88.87 \pm 1015 \text{ Nm}$ i 67.52 ± 4.53) i net momentu natkolenice ($20.01 \pm 0.22 \text{ Nm}$ i $14.81 \pm 1.10 \text{ Nm}$). Značajne razlike javile su se između veznih i napadača u potkolenici noge u net momentu ($88.87 \pm 1.15 \text{ Nm}$ i $77.69 \pm 3.51 \text{ Nm}$). Bilo je značajnih razlika između napadača i odbrambenih u net momentu potkolenice ($77.69 \pm 3.51 \text{ Nm}$ i $67.52 \pm 4.53 \text{ Nm}$), i net momenat natkolenice ($18.61 \pm 0.89 \text{ Nm}$ i $14.81 \pm 1.10 \text{ Nm}$). Po navedenoj studiji, udarac veznih igrača ima jači biomehanički odgovor, pa je brži od udarca napadača i odbrambenih. Takođe se može zaključiti da vezni igrači koji imaju vise kretanja unapred i ekonomičnije pokrete, mogu imati bolji sekvencijalni obrazac segmentnih pokreta udarca gornjim delom stopala u fudbalu. Zaključak je da vezni igrači, koji prelaze veće ukupne razdaljine nego ostali igrači, mogu izvesti ovakav udarac znalajno brže od odbrambenih igrača. Takođe, nema značajne razlike između veznih igrača i napadača, ali je brzina lopte kod udarca veznih igrača veća. Čini se da su vezni igrači uspešniji u ovome udarcu jer trče unapred da bi udarili loptu. Dakle, vezni igrači mogu

najuspešnije da udare loptu iz prekida, slobodnih udaraca i penala. Za razliku od prethodnih, u radu Naito i saradnici (2010), vršena je analiza kinetičkog lanca u zglobu kolena tokom udarca gornjeg dela stopala. Trodimenzionalni (3-D) višezglobni pokreti udova, kao što je udarac gornjim delom stopala, složeni su u dinamičkom smislu. Kako onaj koji izvodi udarac koordinira višezglobne pokrete pri kretanju celog tela, kada izvodi snažne pokrete udarca, od važnosti je, kako za naučnike tako i za trenere. Poznavanje mehanizama koji leže u osnovi udarca gornjim delom stopala može doprineti shvatanju koordinacije višezglobnih pokreta u raznim veštinama, kao i unapređenju strategija za poboljšavanje veštine udarca. Međutim, većina prethodnih istraživanja koristila je dvodimenzionalni 2-D model kinetičkog lanca (Apriantono i sar., 2006; Dorge i sar., 1999, 2002; Nunome i sar., 2006; Putnam, 1993, 1991). Posledica toga je nedostatak detaljnog poznavanja 3-D višezglobnih interakcija koje upravljaju udarcem prednjim delom stopala. Pored činjenice da je udarac gornjim delom stopala 3-D pokret otvorenog lanca, dati pokret mora biti pod uticajem ne samo kretanja drugih zglobova, već višezglobnih pokreta celog tela. Štaviše, različite sile ili momenti, kao što su giroskopsko ubrzanje (giroskopski momenat), centrifugalno ubrzanje (centrifugalni momenat) i Coriolis ubrzanje (Coriolis sila) rezultat su višezglobnih pokreta kao i sile reakcije koje deluju na telo igrača koji izvodi udarac gornjim delom stopala. U jednom istraživanju pronađeno je da su veće brzine udaraca mogle biti postignute dominantnom nogom kao rezultat veće ugaone brzine natkolenice (Dorge, 2002). Iako je zaključeno da su razlike u brzini lopte između udarca dominantnom i nedominantnom nogom uzrokovane boljim unutar-segmentalnim obrascem pokreta za momenat zavistan od brzine, nedostajale su detaljne informacije o uzročnim mehaničkim faktorima za nastanak momenta koji zavisi od ugaone brzine uključujući giroskopski momenat, Coriolis i centrifugalne komponente zavisne od sile. U prethodnim studijama koje su proučavale gornji deo tela i pokret noge na koju se oslanja, izračunato je da bi zajednička koordinacija celog tela bila neophodna kako bi se izveo snažan udarac nogom (Kellis, Katis, Gissis, 2004; Shan i Westerhoff, 2005). Uprkos dugim naporima da se rasvetle mehanizmi na kojima se zasniva udarac gornjim delom stopala, ostaje potreba za razvijanjem dinamičkih modela za opis i analizu ovog posebnog višezglobnog pokreta. Cilj gore nevedene studije bila je razvijanje jednog 3-D modela za proučavanje uzročno-posledičnih veza između pokreta noge kod udarca i dinamičkih faktora usled mišićnih, zglobnih pokreta i spoljnih momenata zavisnih od sile uključujući obe noge i trup, i utvrđivanje doprinosa ovih faktora maksimalnoj ugaonoj

brzini ekstenzije kolena tokom udarca. Baveći se rasvetljavanjem veza između datog pokreta zgloba kolena dominantne noge pri udarcu i uzročnih dinamičkih faktora koji leže u osnovi tog pokreta, raščlanili smo momenat zavisan od ugaone brzine u: giroskopski momenat, Coriolis silu i centrifugalne komponente zavisne od sile. Kako ove tri komponente momenta zavisnog od ugaone brzine zavise od različitih kinematičkih promena zgloba, ovaj unapređeni model omogućio nam je da odredimo doprinos svake komponente nastanku pokreta ekstenzije kolena noge u toku udarca i posledičnu kinematiku zgloba. Delujući u ovom pravcu ova studija imala je za cilj mnogo detaljnije razumevanje doprinosa komponente zavisne od ugaone brzine nego što je postignuto u prethodnim studijama koje su koristile 2-D analizu kinetičkog lanca.

4. PREDMET, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

Predmet ovog istraživanja je stepen uspešnosti izvođenja bočnog volej udarca u odnosu na kinematiku lopte, i u odnosu na mehaničke uslove izvođenja pokreta.

Cilj istraživanja je bio da se kod vrhunskih fudbalera odredi, iz aspekta razmene brzine i preciznosti, šema optimizovanja kretanja po kriterijumu efikasnosti i ekonomičnosti bočnog volej udarca.

Zadaci, koje je neophodno ispuniti da bi se realizovao zadati cilj istraživanja, bili su sledeći:

1. Ispitanike rasporediti u dve grupe prema motornim zadacima (prema faktorima brzine i udaljenosti lopte).
2. Utvrditi vremensku šemu promena ugaonih brzina tokom pokreta, u odnosu na brzinu lopte i u odnosu na početne uslove izvođenja.
3. Utvrditi promene brzine kraja kinetičkog lanca tokom pokreta u odnosu na brzinu lopte.

5. HIPOTEZE

Opšta hipoteza:

H – Očekuje se da će, različiti mehanički uslovi izvođenja pokreta dovesti do promene u kinematičkoj adaptaciji lokomotornog aparata.

Posebne hipoteze:

H₁ – Očekuje se da će se, sa povećanjem brzine lopte, desiti povećanje brzine realizacije pokreta i skraćenje egzekutivne faze po trajanju.

H₂ – Po principu Bernštajnovih sinergija, očekuje se da se slaganje brzina pojedinačnih segmenata odvija na različit način u odnosu na zadatak brzinu lopte.

H₃ - Očekuje se da će, sa povećanjem visine, a nezavisno od brzine lopte, sistem težiti što „zamrznutijoj“ poziciji tokom pokreta u skladu sa simultanom kinematičkom šemom.

6. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

6.1. Metode, tehnike, tok i postupci istraživanja

Ovo je transversalno istraživanje eksperimentalnog karaktera. Parametrisanje početnih uslova izvođenja je obavljeno korišćenjem podbačenih lopti od jedne visokoprofesionalne osobe, koja je prethodno učila pokrete po aspektu brzine i tačnosti, i dostigla zadovoljavajuće kriterijume. U kasnijoj proceduri obrade kinematskih varijabli određena je visina i brzina lopte, tako što su formirani različiti opsezi visina (niske od 680 do 800 mm, srednje od 920 do 950 mm, visoke od 960 do 1000 mm) i brzina lopte (spore od 3,9 do 6,5 m/s, umerene od 7,0 do 7,6 m/s, i brze od 7,9 do 8,5 m/s). Nivo preciznosti je definisan diferenciranjem 4 polja u projekciji gola. Za obradu su uzimani uspešni pokušaji izvođenja udarca (pogođen bliži gornji segment gola). Gol se nalazio na udaljenosti od 9 metara od ispitanika.

6.2. Uzorak ispitanika

Eksperiment je izveden na uzorku od 30 ispitanika muškog pola. To su profesionalni fudbaleri, članovi nacionalne selekcije Srbije, starosti od 19 do 23 godine (mladi reprezenta-

tivci) i isti pripadaju eksperimentalnoj grupi. Većina ispitanika u trenutku izvođenja testiranja igralo je u velikim inostranim klubovima (FC Chelsea, FC Benfica, FC Leiria, FC München 1860, FC Luch – Energia, FC Brantford Galaxy, FC London City, FC Košice), dok su ostali bili članovi vodećih klubova Super lige Srbije (FK Crvena Zvezda, FK Partizan, OFK Beograd).

6.3. Uzorak varijabli

Koristeći pravila temeljnog kinematičko-dinamičkog opisa pokreta, a u cilju diferenciranja različitog doprinosa svake celine pokreta, odlučili smo se za sledeće varijable.

1. Ugao u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (angKOL_tk)
2. Minimalni ugao u zglobu kolena tokom faze zamaha (angKOL_min)
3. Maksimalni ostvareni ugao u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (angKOL_max)
4. Ugao u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (angKUK_tk)
5. Vreme proteklo od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (tkKUK_max_kont)
6. Ugaona brzina u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKOL_tk)
7. Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (wKOL_max)
8. Vreme proteklo od trenutka ostvarivanja maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom (twKOL_max_tk)
9. Ugaona brzina u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKUK_tk)
10. Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (wKUK_max)
11. Vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (twKUK_max_tk)

12. Distanca između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom (Dkukpeta_tk)
13. Ugao koje zaklapaju ose rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (angRKP_tk)
14. Ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (wRKP_tk)
15. Maksimalno ostvarena ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta pri izvođenju bočnog volej udarca (wRKP_max)
16. Maksimalno ostvarena brzina centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (velKUK_max)
17. Brzina centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKUK_tk)
18. Vreme proteko od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (t_velKUK_max_tk)
19. Brzina centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKOL_tk)
20. Vremenski period protekao od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom (t_velKOL_max_tk)
21. Maksimalno ostvareno ubrzanje centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (accKUK_max)
22. Ubrzanje stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (acc_STO_tk)
23. Maksimalno ostvareno ubrzanje stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (acc_STO_max)
24. Brzina stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (vel_STOP_tk)
25. Maksimalno ostvarena brzina stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (vel_STOP_max)

Slovena kombinacija u zagradi na kraju varijable predstavlja skraćeni naziv varijable.

6.4. Protokol eksperimenta

Sva merenja predstavljena u ovom radu, obavljena su u sportskoj hali Fakulteta za sport i fizičko vaspitanje u Beogradu (Slika 14). Odluka da, umesto otvorenog prostora za merenje, koristimo zatvoreni prostor, doneta je kako bi se obezbedili stabilni uslovi za ovakvu vrstu ispitivanja. Na ovaj način su izbegnuti spoljašnji, pre svega atmosferski uticaji (vetar, sunčevo zračenje, temperaturne oscilacije i dr.).



Slika 14. Poligon za testiranje u sportskoj hali Fakulteta za sport i fizičko vaspitanje

Serijske eksperimente su bile planirane i dogovarane sa ispitanicima i obavljane su u dogovorenim terminima. Vreme njihovog izvođenja je bilo od 11 do 15 časova. Svi fudbaleri su bili veoma raspoloženi za učešće u ovakvoj vrsti istraživanja, koja je za sve njih predstavljala novo iskustvo. Pošto ovakva kinematička studija nije invazivne prirode, i ne narušava integritet ispitanika, ona nije izazvala nikakve neugodnosti tokom sprovođenja. Svi učesnici su je tretirali kao uobičajenu trenažnu praksu, što u osnovi i predstavlja.

Kinematičke varijable bočnog volej udarca su merene u mesecu junu i julu 2010. godine. To je bitan podatak za tumačenje rezultata, jer su svi ispitanici bili u sličnoj trenažnoj takmičarskoj fazi pripremljenosti. Sa aspekta tehnologije sportskog treninga, takva faza bi se

mogla okarakterisati kao kraj takmičarskog mezociklusa i prelazak na prelazni period. Postignuti rezultati ne predstavljaju najviše domete kod nekih ispitanika.

Pokušaji da se zabeleže volej udarci u punoj takmičarskoj formi nisu mogli biti realizovani iz specifičnih sportskih razloga, kao što su na primer: remećenje isplaniranih trenažnih aktivnosti, putovanja, pripreme na drugim lokacijama i rekonvalescentna stanja izazvana prethodnim trenažno takmičarskim aktivnostima.

Pre zagrevanja je izvršena kalibracija sistema, kao i otklanjanje uzroka IR refleksija, koje su mogle da utiču na kvalitet dobijenih signala. Zona izvođenja udarca, nalazila se na 9 metara udaljenosti od gola.

Nakon zagrevanja, koje se sastojalo od uobičajenih individualnih postupaka, i rada sa loptom, kompleksa vežbi usmerenih na pokretljivost donjih ekstremiteta, pristupilo se izvođenju bočnog volej udarca.

Markeri za kinematičku analizu su bili postavljeni na ispitanicima tokom perioda zagrevanja, neposredno pre eksperimentalne procedure. Pauza između izvođenja udaraca je bila u intervalu od 3 do 5min, ili nešto kraća, uglavnom na početku eksperimentalnih celina.

Tokom izvođenja eksperimenta, veliki broj snimljenih udaraca je morao biti izbačen iz daljih procedura za obradu, jer nisu signalizovali sa svih praćenih markera bili korektno detektovani. Takođe, odbacivani su oni pokušaji kod kojih su signalizovali bili korektno detektovani i snimljeni, ali udarci po svojoj tehnici i preciznosti izvođenja nisu predstavljali domete bliske optimalnim.

6.5. Način merenja

Varijable kinematike bočnog volej udarca, odnosno prostorno vremenske koordinate reflektivnih markera, izmerene su 3D infracrvenim (IR) sistemom marke Qualisys (Sweden) (Slika 15) sa frekvencijom uzorkovanja signala od 240Hz. Sistem se sastojao od tri IR kamere i personalnog računara, na kome su se, uz pomoć originalnog Qualisys track manager (QTM) softvera, skladištili podaci koji su kasnije analizirani. Pozicioniranje kamere je predstavljalo jednu vrstu izazova, koja je bila prouzrokovana karakteristikama objekta u kome se eksperiment odvijao. Prirodna svetlost koja je dopirala u zonu izvođenja eksperimenta, predstavljala je poteškoću za detektovanje pojedinih markera. To se naročito primećivalo kada bi se kamere postavile na stativ, tada njihova udaljenost od zone izvođenja

udarca nije omogućavala da se istovremeno snime markeri pozicionirani po celoj visini ispitanika. Premeštanje kamera u adekvatan prostor sa usmerenjem prema голу, omogućilo je postizanje potrebne distance za snimanje u širem prostornom opsegu. Limitiranost adekvatnim osvetljenjem i brojem kamera koje se nalaze u sistemu, onemogućilo je praćenje kinematičkih parametara sa strane stajne noge, kojima bi se mogla dobiti mnogo veća količina podataka za kompletniju 3D analizu.



Slika 15. Početni uslovi za kalibraciju QTM sistemom.

Kalibracija prostornih karakteristika sistema izvršena je po proceduri proizvođača uz upotrebu originalnog kalibracionog vinkla. Zatim se vršila automatska kalibracija uz pomoć kalibracionog štapa (*eng. wand calibration*), koji je u zadatom vremenskom intervalu pomeran u sve tri ravni, kako i nalaže operativna procedura. Ova procedura je ponavljana za svaki set merenja, kod koga bi se vršilo repositioniranje kamera, ili ako bi se pojavila sumnja da su se one makar i najmanje pomerile u odnosu na prvobitnu kalibraciju.

Reflektivni markeri (dijametra 19mm) pozicionirani su na određene referentne tačke koje predstavljaju centre zglobova stajne i zamajne noge (Slika 16.1). Za analiziranje kinematike pokreta bočnog volej udarca odabrane su sledeće lokacije – centri zglobova na koje su postavljeni markeri:

- rame – proksimalna glava humerusa,
- kuk – trochanter major,
- koleno – caput fibulae,
- skočni zglob – maleolus lateralis,
- prsti – V metatarsalna kost i
- peta - calcaneus.



Slika 16.1. Pozicije markera

Svi relevantni zglobovi snimani su konstantno tokom trajanja celog izvođenja udarca. Pokušaji, tokom kojih ne postoje konstantni signali svih postavljenih markera, izuzeti su iz dalje procedure.



Slika 16.2. Način postavljanja markera na skočni zglob i stopalo. Markeri na peti i prstima su postavljeni na gumene nosače.

Markeri su postavljeni tako da se minimizira njihovo pomeranje za vreme izvođenja bočnog volej udarca (Slika 16.2). Tokom eksperimenta, korišćene su dve vrste reflektivnih markera. Prvi, koji su se pomoću fabrički ugrađenog navoja zašrafljivali na gumene stopice i drugi, koji su bili u obliku kalote. Proces pozicioniranja markera odvijao se tako da su prvo određene pozicije za njihovo postavljanje. Te zone su zatim čišćene – odmašćivane alkoholom, da bi se lepljiva traka što čvršće držala. Nakon toga su zašrafljeni na originalne gumene nosače, koji su obostrano pričvršćeni lepljivom trakom na odgovarajuću poziciju, a zatim su flasterima i profesionalnim lepljivim trakama dodatno osiguravani. Lopta je bila obeležena sa dva reflektivna markera u obliku kalote (Slika 16.3), koji su nalepljeni na obe hemisfere lopte sa suprotne strane. U toku merenja korišćene su dve takve obeležene lopte, kako bi utrošak vremena bio što manji.



Slika 16.3. Lopta obeležena reflektivnim markerima



Slika 16.4. Postavljanje markera na skočni zglob

Takođe se uspešno pokazala metoda fiksiranja uz pomoć „čičak“ traka, širine oko 15mm. Posebno je bilo bitno da se kvalitetno postavljaju markeri na obuću (patike), jer se pojavljuju velike udarne sile prilikom kontakta stopala i lopte. Ukoliko bi neki od markera tokom izvođenja udarca pao sa svoje pozicije, postavljan je ponovo istom procedurom na ranije obeleženo mesto.



Slika 17. Pozicije markera tokom izvođenja udarca



Slika 18. Izdiferenciran gol u 4 polja



Slika 19.1 Kontra zamah



Slika 19.2 Flektiran položaj noge



Slika 19.3 Zasuk trupa i fiksacija stajne noge



Slika 19.4 Prenos sile na loptu – opružanje noge i fiksacija u zglobovima



Slika 19.5 Završna faza udarca



Slika 19.6 Prenos težine tela sa stajne na zamajnu nogu

Numerički podaci snimljenih udaraca su bili uskladišteni na tvrdom disku i drugim nosačima. Oni su nakon eksperimentalnih procedura prvo bili obrađivani originalnim QTM softverom. Pregledavanjem snimljenog materijala, izbačeni su iz dalje procedure svi udarci kod kojih se tokom trajanja izvođenja gubi signal nekog markera, zatim su obeležavani svi relevantni markeri. Na osnovu proučavanja signala i konsultovanja referentne literature (Winter 1990), određen je stepen filtracije od 9Hz sa usrednjavanjem vrednosti (*eng.* moving average) pre kalkulacije podataka. Filtracija signala je izvršena u QTM softveru. Nakon toga su manuelno obeležavani markeri, čije su se vrednosti obrađivale (pozicije, pomeraji, brzine, uglovi, ugaone brzine, po magnitudi ili komponentama), i iz QTM su eksportovane u Excell na dalju obradu. Nedostatak softvera, za automatsku obradu podataka, značajno je usporio i otežao izradu ove disertacije.

7. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Podaci dobijeni istraživanjem su obrađeni primenom deskriptivne i komparativne statističke analize.

Značajni efekti faktora visine lopte i brzine lopte, kao i njihove interakcije, na zavisne kinematičke varijable su testirani statističkom metodom Dvofaktorska analize varijanse (dvofaktorska ANOVA), gde je ispitan uticaj 3 modaliteta faktora visine lopte (niska, srednja i visoka) i 3 modaliteta faktora brzine lopte (spora, umerena i brza) (3x3 ANOVA). Ukoliko je dobijen statistički značajan uticaj jednog od faktora na varijabilitet zavisne varijable, sprovedena je Post-hoc LSD Fisher analiza kako bi se utvrdila statistička značajnost razlika između različitih modaliteta tog faktora.

Dobijena značajna interakcija faktora visine i brzine lopte, označava da se data varijabla menja pod uticajem jednog faktora nezavisno od drugog. Za varijable gde je dobijena značajna interakcija, realizovana je statistička procedura koja testira uticaj svakog od faktora nezavisno od drugog, tj. urađena je jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA) za ispitivanje zasebnog uticaja visine lopte i zasebnog uticaja brzine lopte.

Svi dobijeni rezultati su smatrani statistički značajnim na nivou značajnosti od $p < 0.05$. Podaci su analizirani pomoću statističkog programa SPSS (verzija 17.0).

8. INTERPRETACIJA I DISKUSIJA REZULTATA

8.1. Uticaj faktora brzine i visine lopte na zavisne kinematičke varijable kod izvođenja bočnog volej udarca (MANOVA)

Za svaku od zavisnih varijabli **u prvoj tabeli**, predstavljeni su rezultati deksriptivne analize za sve brzine i visine lopte na kojima se izvodio bočni volej udarac. **U drugoj tabeli** su predstavljeni rezultati dvofaktorske analize varijanse, i prikazani su zasebni uticaji faktora brzine i faktora visine lopte, kao i uticaj interakcije ova dva faktora na datu zavisnu varijablu. Ukoliko je dvofaktorskom analizom varijanse dobijen zaseban uticaj nekog od faktora, **u trećoj (i četvrtoj) tabeli** su prikazani naknadni post-hoc testovi (LSD Fisher) koji utvrđuju razliku između različitih modaliteta unutar jednog faktora. Drugim rečima, u naknadnim testovima je utvrđivano da li unutar faktora visine postoje značajne razlike kod praćene zavisne kinematičke varijable između niže, srednje i visoke pozicije, ili da li unutar faktora brzine postoje značajne razlike kod praćene zavisne kinematičke varijable između sporih, umerenih ili brzih lopti.

Ugao u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (angKOL_tk)

Ova varijabla je izdvojena da bismo videli da li je, kao takva, senzitivna na promene izvođenja motornog zadatka. Ona opisuje vrednosti promene ugla u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 1.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	147,2917	20,29759	12
	2 Srednja	136,1989	19,32770	18
	3 Visoka	139,6733	21,52494	30
2 Umerena	1 Niska	152,6400	21,71633	10
	2 Srednja	150,1460	21,67225	20
	3 Visoka	138,9967	15,71499	6
3 Brza	1 Niska	149,3017	19,27625	12
	2 Srednja	146,9743	17,71809	14
	3 Visoka	141,0500	21,91622	4

Tabela 1.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	821,038	2	410,519	,994	,373	,017
VisinaLopte	1286,037	2	643,018	1,557	,215	,026
BrzinaLopte * VisinaLopte	860,250	4	215,062	,521	,721	,017

Tabela 1.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-8,8259*	4,28480	,042	-17,3117	-,3401
	3 Brza	-6,9607	4,54472	,128	-15,9612	2,0399
2 Umerena	1 Spora	8,8259*	4,28480	,042	,3401	17,3117
	3 Brza	1,8652	5,02437	,711	-8,0853	11,8157
3 Brza	1 Spora	6,9607	4,54472	,128	-2,0399	15,9612
	2 Umerena	-1,8652	5,02437	,711	-11,8157	8,0853

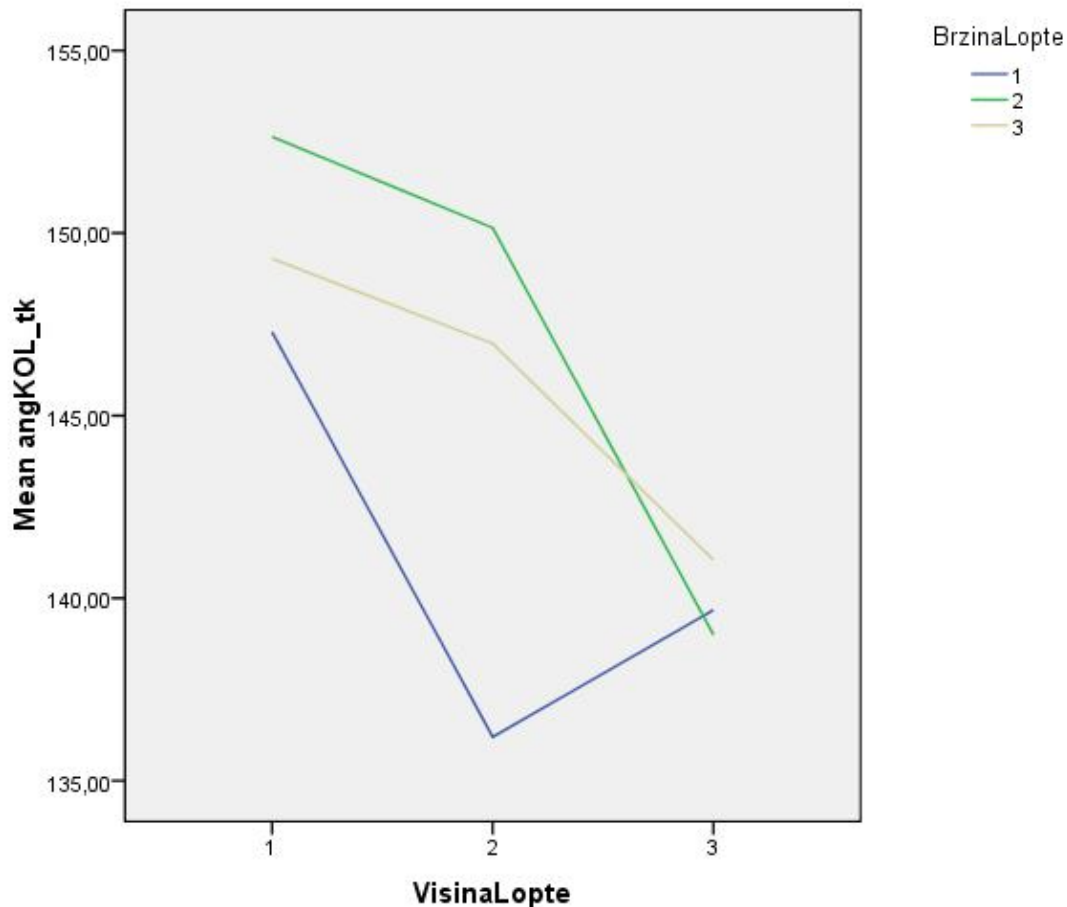
Tabela 1.4

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	5,1099	4,48260	,257	-3,7677	13,9874
	3 Visoka	9,8646*	4,74098	,040	,4754	19,2539
2 Srednja	1 Niska	-5,1099	4,48260	,257	-13,9874	3,7677
	3 Visoka	4,7547	4,27449	,268	-3,7107	13,2201
3 Visoka	1 Niska	-9,8646*	4,74098	,040	-19,2539	-,4754
	2 Srednja	-4,7547	4,27449	,268	-13,2201	3,7107

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora visina ($p=0,215$) i brzine ($p=0,373$) lopte na varijabilitet *ugla u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom* (*angKOL_tk*) (Tabela 1.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 1.3) ukazuju da kod faktora brzine lopte postoji značajna statistička razlika između sporih i umerenih ($p=0,042$). Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih ($p=0,128$) i umerenih i brzih ($p=0,711$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 1.4) ukazuju da je kod faktora visine lopte primećena statistički značajna razlika između niskih i visokih lopti ($p=0,40$). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i srednjih, srednjih i visokih lopti ($p=0,257$, $p=0,268$). Primećeno je da se sa povećanjem visine lopte vrednost ove varijable smanjuje (Grafik 1).



angKOL_tk (°)

Grafik 1: Promene prosečnih vrednosti varijable *ugla u zglobu kolena u trenutku kontakta sa loptom* (*angKOL_tk*), za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da, kada se brzina povećava, stepen odstupanja se smanjuje, što znači da je veća brzina uslov za efikasno i tačno izvođenje bočnog volej udarca. Ovo je u skladu sa F-F modelom motornog upravljanja. Fudbaleri u završnoj fazi izvođenja pokreta obavljaju pokret ekstenzije u zglobu kolena, koji mora da prati pokret kuka, koji rotira unutarnjom rotacijom. Mala statistička značajnost nas upućuje da uočimo koliko su u direktnoj vezi neposredni kontakt sa uglom u zglobu kuka.

Minimalni ugao u zglobu kolena tokom faze zamaha (angKOL_min)

Ova varijabla je potrebna kako bi se ispitalo da li su početne pozicije u zglobu kolena varijabilne u zavisnosti od kretnog zadatka. Drugim rečima, ispituje se da li je započinjanje aktivne faze zamaha varijabilno u odnosu na zadati faktor. Ona opisuje vrednosti minimalnog ugla u zglobu kolena, tokom faze zamaha, u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 2.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	74,5617	6,08990	12
	2 Srednja	73,9367	8,10196	18
	3 Visoka	76,1821	9,06975	28
2 Umerena	1 Niska	78,4700	10,35928	10
	2 Srednja	79,0000	8,01424	20
	3 Visoka	77,8733	8,74087	6
3 Brza	1 Niska	79,4917	5,95744	12
	2 Srednja	79,3171	8,15583	14
	3 Visoka	73,6050	5,14419	4

Tabela 2.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	261,498	2	130,749	1,966	,145	,033
VisinaLopte	39,712	2	19,856	,299	,742	,005
BrzinaLopte * VisinaLopte	182,228	4	45,557	,685	,604	,023

Tabela 2.3

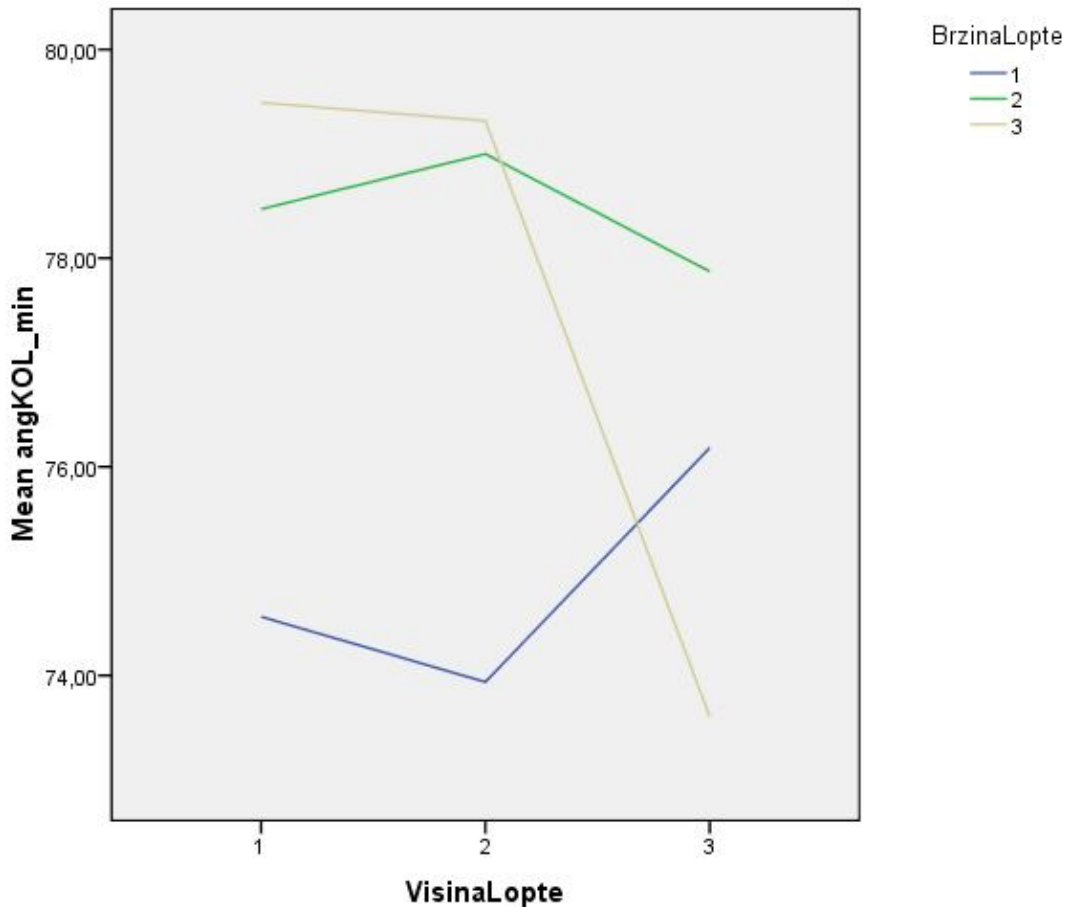
Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-3,5150*	1,73026	,045	-6,9423	-,0877
	3 Brza	-3,4753	1,83392	,061	-7,1080	,1573
2 Umerena	1 Spora	3,5150*	1,73026	,045	,0877	6,9423
	3 Brza	,0397	2,01592	,984	-3,9535	4,0328
3 Brza	1 Spora	3,4753	1,83392	,061	-,1573	7,1080
	2 Umerena	-,0397	2,01592	,984	-4,0328	3,9535

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,145$) i visine ($p=0,742$) lopte na varijabilitet *minimalnog ugla u zglobu kolena tokom faze zamaha (angKOL_min)* (Tabela 2.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 2.3) ukazuju da kod faktora brzine lopte postoji značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,045$) i umerenih i brzih ($p=0,984$) lopti. Ne postoji statistički značajna razlika između sporih i brzih ($p=0,061$) i umerenih i

brzih ($p=0,984$) lopti. Primećeno je da sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable opadaju za umerene i brze lopte, a povećavaju za spore od srednjih ka visokim loptama (Grafik 2).



angKOL_min (u stepenima^o)

Grafik 2: Promene prosečnih vrednosti varijable **minimalni ugao u zglobu kolena tokom faze zamaha** (**angKOL_min**), za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Pretpostavlja se da je fudbaler odveo segment u zadnji položaj i da je to trenutak prelaska iz faze zamaha u egzekutivnu fazu izvođenja bočnog volej udarca. U ovom slučaju nije primarni cilj da fudbaler bude visoko konzistentan sa što većom amplitudom fleksije, već sa stvaranjem početnog ugla, u kome dužina mišića dozvoljava veliki sumarni akcioni potencijal u službi što veće brzine pokreta. Ovde nismo ni očekivali veliku značajnost.

**Maksimalni ostvareni ugao u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca
(angKOL_max)**

Ova varijabla je direktna mera „ zamrznutosti “ kinetičkog lanca koja opisuje individualnu slobodu pokreta potkolenice u zglobu kolena. To je dodatna mera inercijalnosti kraja kinetičkog lanca, budući da maksimalna vrednost ugla u zglobu kolena može da odstupa od ugla u kojem je ostvaren kontakt sa loptom. Ona opisuje vrednosti maksimalnog ugla u zglobu kolena, pri izvođenju bočnog volej udarca u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 3.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std.Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	171,4117	9,15893	12
	2 Srednja	166,6800	13,67409	18
	3 Visoka	166,5100	16,10843	30
2 Umerena	1 Niska	167,3020	9,43557	10
	2 Srednja	168,7560	15,68574	20
	3 Visoka	167,7767	17,12456	6
3 Brza	1 Niska	166,7150	9,91283	12
	2 Srednja	169,1229	12,81896	14
	3 Visoka	171,1350	7,55752	4

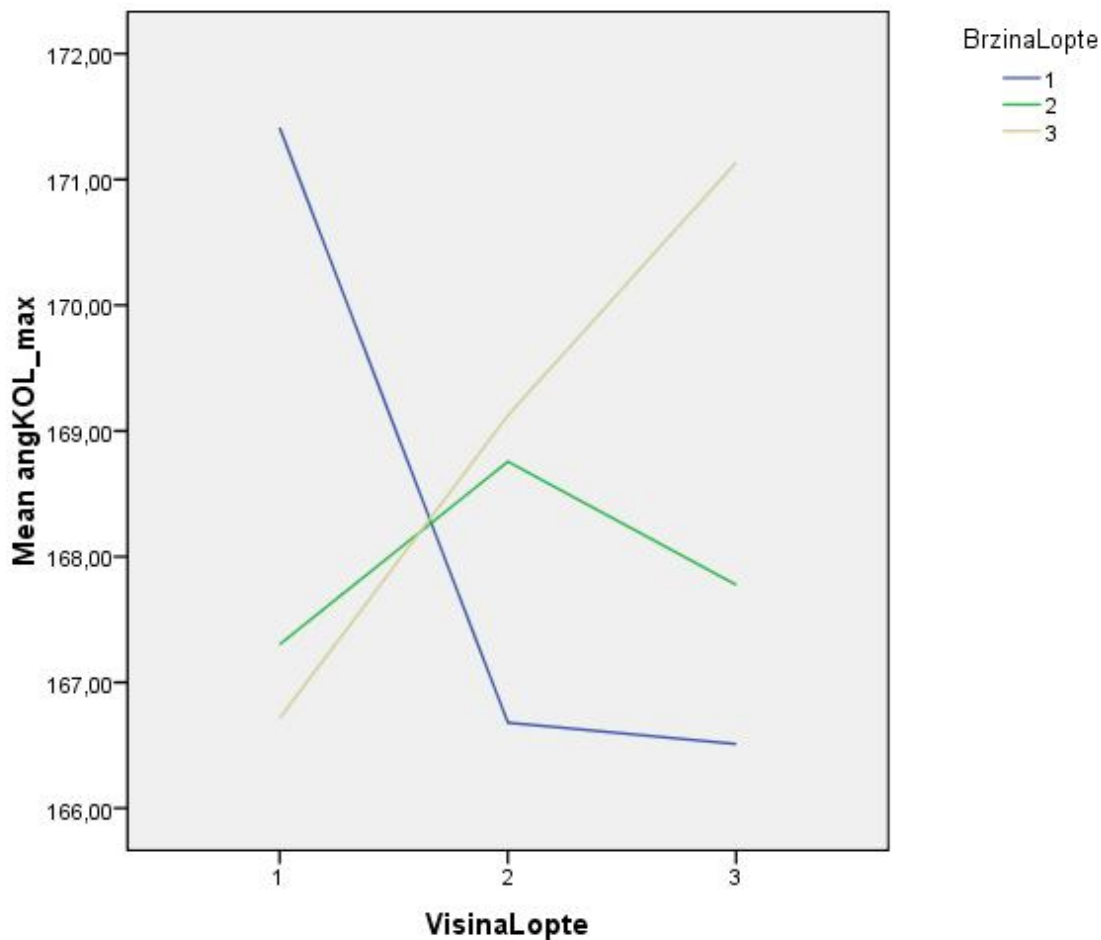
Tabela 3.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	3.	2	7,358	,039	,962	,001
Te						
VisinaLopte	2,184	2	1,092	,006	,994	,000
BrzinaLopte * VisinaLopte	286,659	4	71,665	,382	,821	,013

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,962$) i visine ($p=0,994$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarenog ugla u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (angKOL_max)* (Tabela 3.2). Primećeno je da sa povećanjem visine lopte vrednosti varijable za spore lopte opadaju, a povećavaju se za brze. Umerene lopte nakon povećanja vrednosti do srednjih visina počinju da opadaju (Grafik 3).



angKOL_max (u stepenima°)

Grafik 3: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalni ostvareni ugao u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (angKOL_max)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Sa većom brzinom, sistem postiže veću inerciju, ali takođe postiže i daleko veću rutost. S tim u vezi, postoji i mogućnost bržeg „zamrzavanja” segmenta u zglobu posle neposrednog udarca. U ovom slučaju, to veoma realno reflektuje prosečna veličina standardne devijacije, koja je za brze pokrete najmanja, dok se apsolutne vrednosti zaustavnog ugla bitno ne razlikuju.

Ugao u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (angKUK_tk)

Ova varijabla je potrebna kako bi se ispitala njena senzitivnost na promene izvođenja motornog zadatka, ako se zna da suma svih uglovnih pozicija sistema definiše krajnju poziciju kraja kinetičkog lanca. Ona opisuje promene vrednosti ugla u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom, u odnosu na brzinu i visinu dolazeće lopte.

Tabela 4.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	115,2783	15,84895	12
	2 Srednja	101,6733	12,09676	18
	3 Visoka	100,3280	15,36330	30
2 Umerena	1 Niska	123,5160	13,20635	10
	2 Srednja	119,4900	14,97641	20
	3 Visoka	102,6033	1,57079	6
3 Brza	1 Niska	123,0150	13,38702	12
	2 Srednja	125,0686	16,51975	14
	3 Visoka	113,1950	27,71859	4

Tabela 4.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	3883,085	2	1941,542	8,817	,000	,131
VisinaLopte	2917,866	2	1458,933	6,626	,002	,102
BrzinaLopte *	1380,663	4	345,166	1,568	,188	,051
VisinaLopte						

Tabela 4.3*Post hoc* (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-14,0722*	3,12835	,000	-20,2678	-7,8767
	3 Brza	-18,9423*	3,31812	,000	-25,5137	-12,3710
2 Umerena	1 Spora	14,0722*	3,12835	,000	7,8767	20,2678
	3 Brza	-4,8701	3,66832	,187	-12,1350	2,3948
3 Brza	1 Spora	18,9423*	3,31812	,000	12,3710	25,5137
	2 Umerena	4,8701	3,66832	,187	-2,3948	12,1350

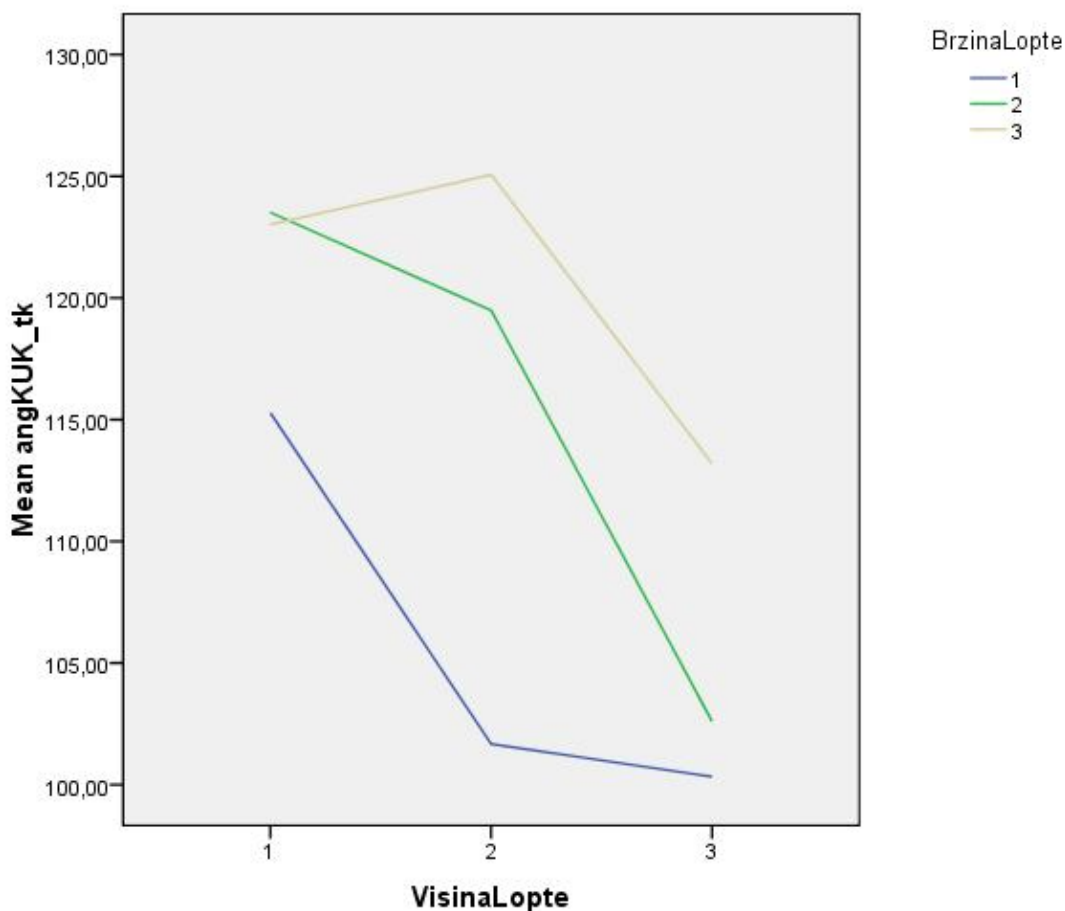
Tabela 4.4

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	5,6071	3,27277	,089	-,8744	12,0887
	3 Visoka	18,4758*	3,46141	,000	11,6206	25,3309
2 Srednja	1 Niska	-5,6071	3,27277	,089	-12,0887	,8744
	3 Visoka	12,8686*	3,12082	,000	6,6880	19,0492
3 Visoka	1 Niska	-18,4758*	3,46141	,000	-25,3309	-11,6206
	2 Srednja	-12,8686*	3,12082	,000	-19,0492	-6,6880

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,000$) i visine ($p=0,002$) lopte na varijabilitet *ugla u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (angKUK_tk)* (Tabela 4.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 4.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,000$), i sporih i brzih ($p=0,000$) lopti. Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,187$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 4.4) ukazuju da je, kod faktora visine lopte, primećena statistički značajna razlika između niskih i visokih ($p=0,000$), srednjih i visokih ($p=0,000$) lopti, gde se sa povećanjem visine lopte, vrednost ove varijable smanjuje (Grafik 4). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i srednjih lopti ($p=0,089$).



angKUK_tk (u stepenima^o)

Grafik 4: Promene prosečnih vrednosti varijable **ugao u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (*angKUK_tk*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Kako se povećava visina lopte, ugao u zglobu kuka se smanjuje, što znači da se osa trupa i osa natkolenice sve više približavaju. Ne postoji veliki otklon trupa, zato što čovek želi neposredno da zadrži dinamičku stabilnost, ne odvedeći težište van oslonca, i iz tih razloga natkolenica može da zauzme višu poziciju. Brzina i visina lopte direktno utiču na ugao u zglobu kuka, jer se natkolenica, kao najmasivniji segment kinetičkog lanca, zadržava nešto duže u jednom položaju, kako bi se održala dinamička ravnoteža, i kako ostali segmenti sistema ne bi pretekli centar zgloba kuka.

Vreme proteklo od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (tKUK_max_kont)

Pod pretpostavkom da je najveći deo pripreme faze završen zanoženjem natkolenice prema nazad, ovom varijablom ispitujemo vremensku šemu pokreta egzekutivne faze. Ovo je prikazano konzistentnošću trajanja egzekutivne faze.

Tabela 5.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	51,17	4,609	12
	2 Srednja	52,78	4,845	18
	3 Visoka	58,67	6,110	30
2 Umerena	1 Niska	54,20	2,936	10
	2 Srednja	53,70	6,208	20
	3 Visoka	62,33	9,004	6
3 Brza	1 Niska	58,50	5,931	12
	2 Srednja	51,40	8,909	10
	3 Visoka	58,00	,000	2

Tabela 5.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

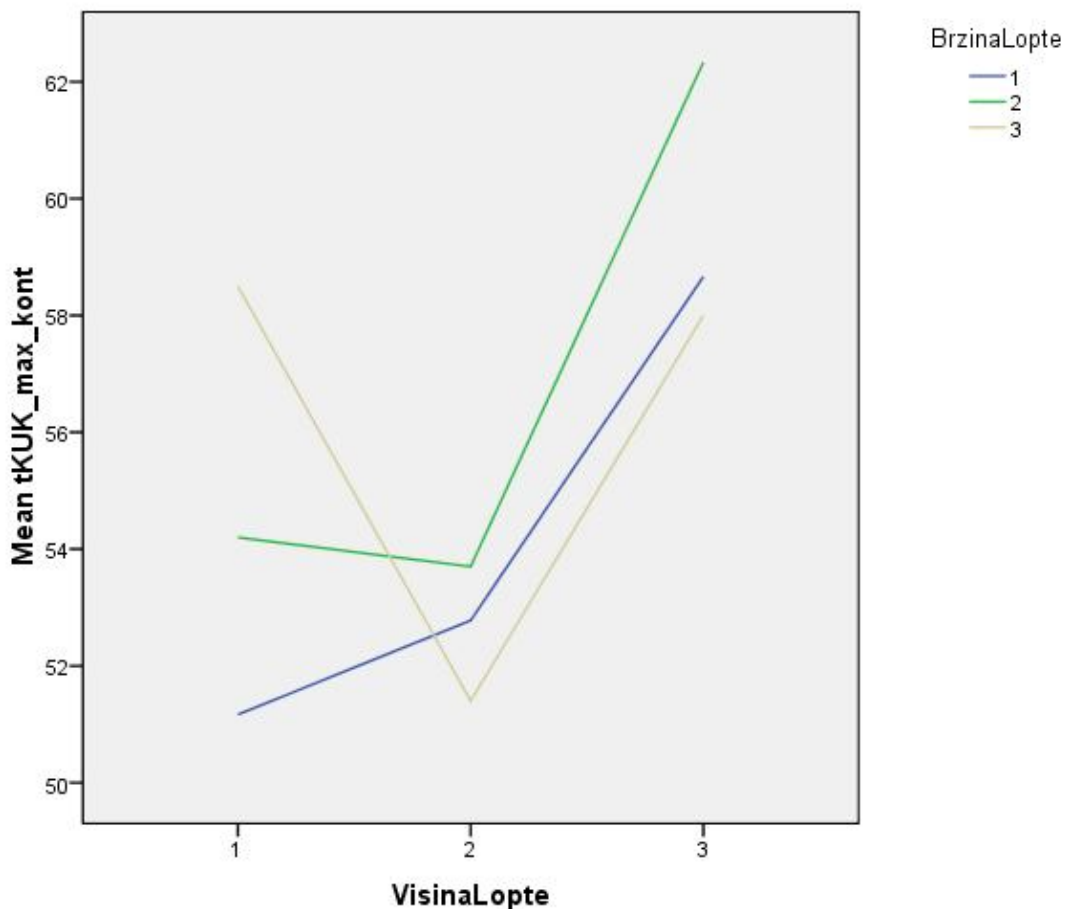
Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	127,367	2	63,683	1,753	,178	,031
VisinaLopte	496,031	2	248,015	6,828	,002	,110
BrzinaLopte * VisinaLopte	287,033	4	71,758	1,975	,103	,066

Tabela 5.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	1,77	1,351	,192	-,90	4,45
	3 Visoka	-4,56*	1,423	,002	-7,38	-1,74
2 Srednja	1 Niska	-1,77	1,351	,192	-4,45	,90
	3 Visoka	-6,34*	1,309	,000	-8,93	-3,74
3 Visoka	1 Niska	4,56*	1,423	,002	1,74	7,38
	2 Srednja	6,34*	1,309	,000	3,74	8,93

Primećen je statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,002$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,178$) lopte na varijabilitet *vremena proteklog od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (tKUK_max_kont)* (Tabela 5.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 5.3) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niskih i visokih ($p=0,002$), srednjih i visokih ($p=0,000$), gde se sa povećanjem visine lopte, vrednost ove varijable povećava (Grafik 5). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i srednjih lopti ($p=0,192$).



tKUK_max_kont (u sekundama s)

Grafik 5: Promene prosečnih vrednosti varijable **vreme proteklo od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (tKUK_max_kont)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

U uslovima dolaska niske lopte, egzekutivna faza traje kraće u odnosu na dolazak visoke lopte. Razlog tome je dugotrajnije odvođenje segmenta u zadnju poziciju, i to samo zato što za visoke lopte inicijalni moment sile u zglobu kuka mora biti daleko veći zbog odvođenja noge. Sa ovim u vezi, za dolazak visoke lopte fudbaler ima jasnije i prepoznatljivije mehaničke uslove izvođenja, bez obzira na težinu izvođenja. Čovek za niske i srednje lopte upravlja na pokretom na sličan način kada je u pitanju kontrola trajanja. Drugim rečima, kada želimo da izgradimo konzistentnost trajanja voleja, možemo čak i menjati visinu i to od najnižih do srednjih visina. Kod sporih je nešto manja varijabilna

greška i sama za sebe je stabilnija u odnosu na varijabilnost visine, pri kojima se reprodukuje. Shodno brzini lopte, očekivalo se da će trajanje egzekutivne faze kraće trajati, što se nije dogodilo.

Ugaona brzina u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKOL_tk)

Ova varijabla je potrebna kako bi se ispitalo da li se taj pokret izvodi umerenim ili maksimalnim brzinama, i koliko fudbaler izvodi pokret svojim rotacionim, a koliko translacionim kretanjem, tj. koliko je varijabilan na motorni zadatak. Ako postoji zavisian odnos, onda predstavlja faktor koji utiče na izvođenje motornog zadatka.

Tabela 6.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	1034,6283	168,94212	12
	2 Srednja	1144,9122	136,36149	18
	3 Visoka	950,0960	201,23580	30
2 Umerena	1 Niska	1156,3780	199,56647	10
	2 Srednja	1058,0700	217,02944	20
	3 Visoka	1250,6833	60,59007	6
3 Brza	1 Niska	1032,9600	160,77638	12
	2 Srednja	999,2929	296,88357	14
	3 Visoka	1089,6300	17,47062	4

Tabela 6.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

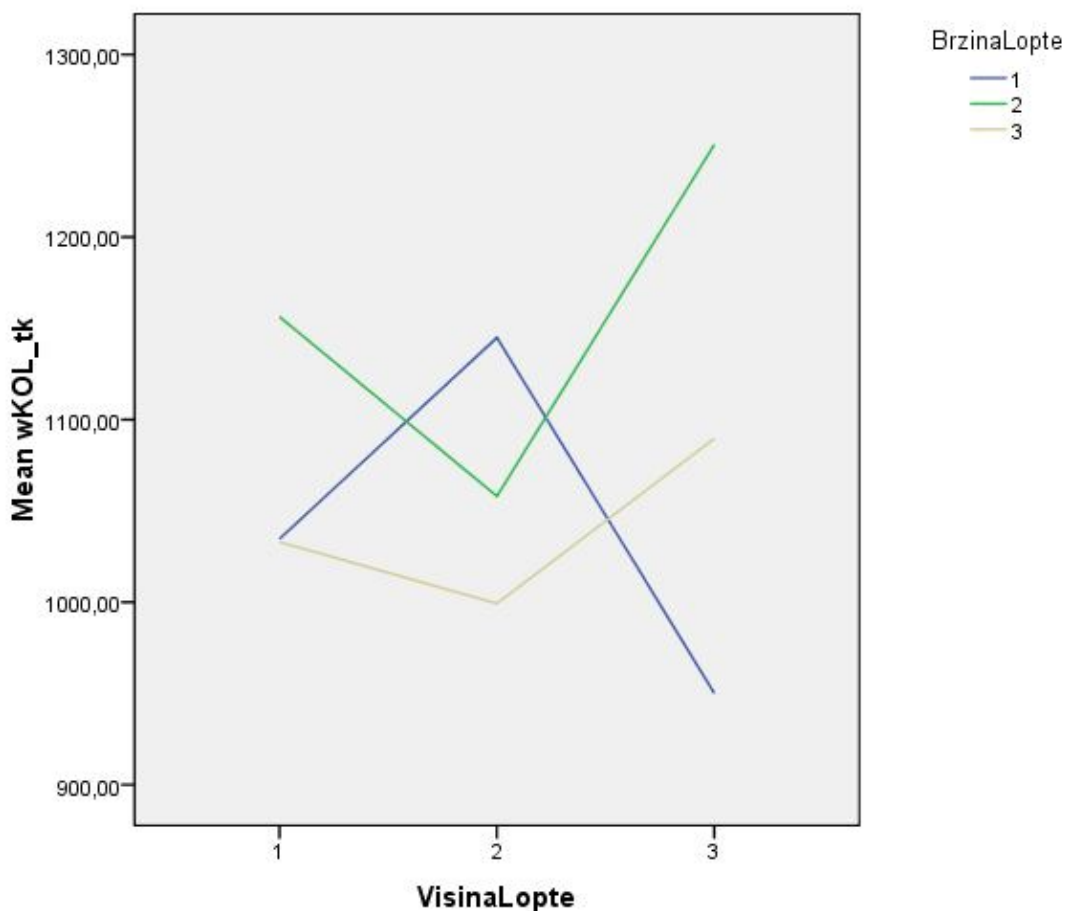
Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	260948,792	2	130474,396	3,387	,037	,055
VisinaLopte	12414,707	2	6207,353	,161	,851	,003
BrzinaLopte * VisinaLopte	584833,821	4	146208,455	3,795	,006	,115

Tabela 6.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-92,0327*	41,37818	,028	-173,9800	-10,0853
	3 Brza	,6427	43,88819	,988	-86,2756	87,5609
2 Umerena	1 Spora	92,0327*	41,37818	,028	10,0853	173,9800
	3 Brza	92,6753	48,52022	,059	-3,4164	188,7671
3 Brza	1 Spora	-,6427	43,88819	,988	-87,5609	86,2756
	2 Umerena	-92,6753	48,52022	,059	-188,7671	3,4164

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,037$) lopte, a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,851$) lopte na varijabilitet *ugaone brzine u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKOL_tk)* (Tabela 6.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 6.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih lopti ($p=0,028$). Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih, umerenih i brzih ($p=0,988$, $p=0,059$) lopti. Primećeno je da se sa porastom visine lopte vrednost varijable povećava za umerene i brze lopte, dok za spore opada (Grafik 6).



wKOL_tk (stepen/sekund °/s)

Grafik 6: Promene prosečnih vrednosti varijable **ugaona brzina u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKOL_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Jedno je očekivati da fudbaler tokom rotacione kretnje, i to završne u zglobu kolena, bude precizan po aspektu trajanja egzekutivne faze ili preciznog položaja u kome se ostvaruje kontakt. Drugo je sve to izvesti u zoni izrazito velikih brzina. Deskriptivna obeležja nisu kadra da razgraniče strategiju fudbalera kako kontroliše pokrete, kada im se brzina pokreta menja. Naime, u cilju očuvanja ritma celokupnog pokreta zamah-egzekucija, sporije lopte bi trebalo i da se kontrolišu nešto sporije, dok bi brže lopte trebalo da se kontrolišu brže. Pokazalo se da to nije tako, već da su apsolutne vrednosti skoro slične.

Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (wKOL_max)

Ova varijabla je potrebna kako bi se utvrdilo da li postoji, i koliki je njen uticaj u završnoj fazi pokreta. Ona opisuje vrednosti promene maksimalno ostvarenih ugaonih brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca, u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 7.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	1205,068	214,7538	12
	2 Srednja	1244,984	195,2290	18
	3 Visoka	1159,551	235,9841	28
2 Umerena	1 Niska	1397,482	194,9202	10
	2 Srednja	1246,398	210,9837	20
	3 Visoka	1300,837	108,3715	6
3 Brza	1 Niska	1300,685	164,9691	12
	2 Srednja	1215,053	233,2061	14
	3 Visoka	1169,775	54,4499	4

Tabela 7.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

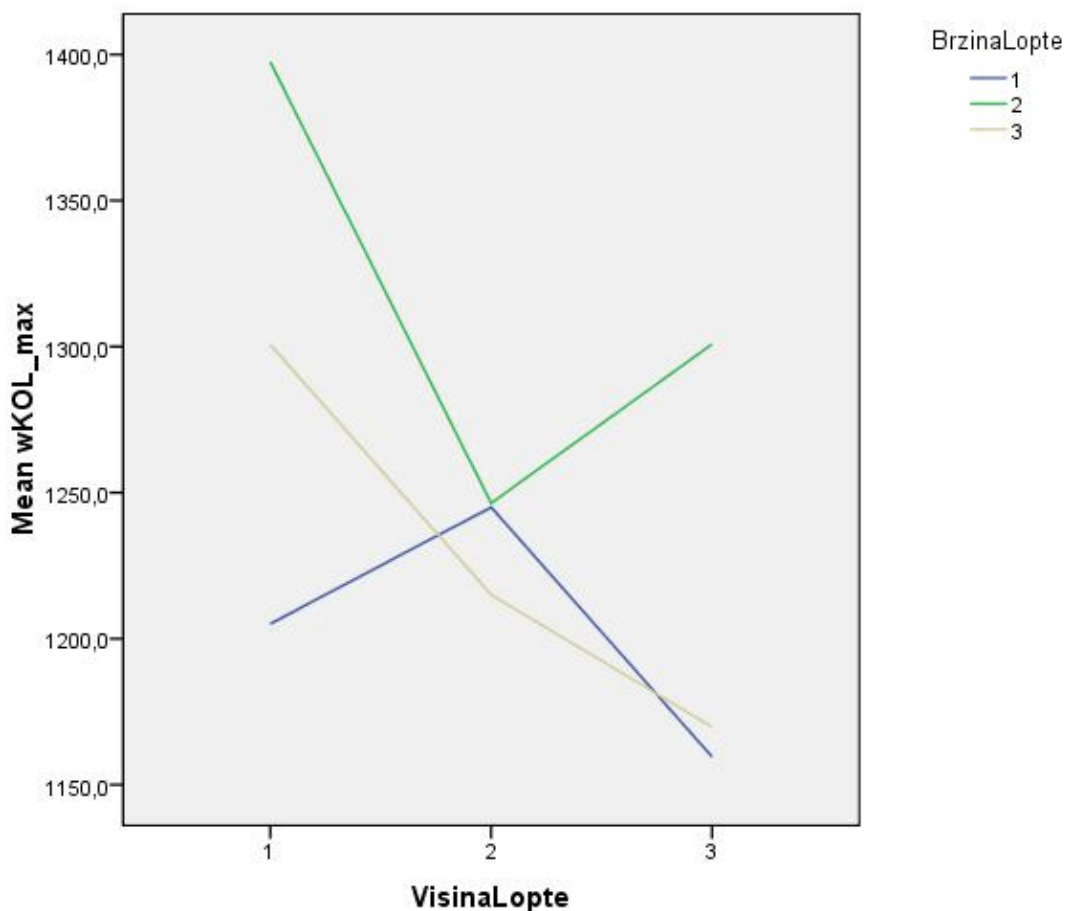
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	232198,655	2	116099,328	2,713	,071	,045
VisinaLopte	130174,422	2	65087,211	1,521	,223	,026
BrzinaLopte * VisinaLopte	151673,192	4	37918,298	,886	,475	,030

Tabela 7.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-101,956*	43,8891	,022	-188,892	-15,021
	3 Brza	-47,786	46,5184	,306	-139,930	44,358
2 Umerena	1 Spora	101,956*	43,8891	,022	15,021	188,892
	3 Brza	54,170	51,1349	,292	-47,118	155,459
3 Brza	1 Spora	47,786	46,5184	,306	-44,358	139,930
	2 Umerena	-54,170	51,1349	,292	-155,459	47,118

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,071$) i visine ($p=0,223$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarene ugaone brzine u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca (wKOL_max)* (Tabela 7.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 7.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih lopti ($p=0,022$). Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih, umerenih i brzih ($p=0,306$, $p=0,292$) lopti. Primećeno je da sa povećanjem visine lopte vrednosti varijable opadaju, osim za umerenu loptu koja povećava vrednosti od srednjih ka visokim loptama (Grafik 7).



$wKOL_{max}$ (stepen/sekund °/s)

Grafik 7: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca ($wKOL_{max}$)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Fudbaler mora da stvori stabilne uslove većom napetošću u celom telu, da bi regularno mogao da dočeka dolazeću loptu. Drugim rečima, ima sve vreme zamrzavajuću fazu i smanjenu slobodu ekstenzije u zglobu kolena u završnoj fazi, za razliku od umereno dolazećih lopti u kojima je oslobađajuća faza pokreta. Baš zbog toga što nema razlike u stepenu ugaone brzine, logično je da se i proces edukacije izvodi ne u sporim, nego u umerenim brzinama. Tim pre što je i standardna devijacija veća kod sporih brzina. Bilo bi logično da je oslobađajuća faza prilikom izvođenja voleja izražena kada su dolazeće lopte spore, ali postoji problem, jer pripremna faza dugo traje. Postoje razlike u egzekutivnoj fazi između sporih, kao i umerenih lopti, i one su najvećim delom vezane za nestabilnost pripremne faze. Pokazalo se da samo opružanje nije efikasno kada su lopte visoke. Razlozi su

višestruki: za jednog od njih se pretpostavlja veći stepen krutosti ligamentozne veze, što direktno oslikava netreniranje seniora trenažnim procedurama fleksibilnosti, čime se sparivanje pokreta u zglobu kuka otežava.

Vreme proteklo od trenutka ostvarivanja maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa lopotom (twKOL_max_tk)

Ova varijabla je potrebna kako bi se utvrdilo da li postoji varijabilnost pokreta između ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena, u trenutku kontakta stopala sa loptom. Ona opisuje vremensku šemu izvođenja pokreta u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 8.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	3,00	1,477	12
	2 Srednja	2,33	1,815	18
	3 Visoka	3,00	1,440	28
2 Umerena	1 Niska	3,20	1,687	10
	2 Srednja	2,80	1,881	20
	3 Visoka	1,00	,894	6
3 Brza	1 Niska	3,67	,778	12
	2 Srednja	2,33	1,557	12
	3 Visoka	2,00	1,155	4

Tabela 8.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	3,656	2	1,828	,765	,468	,013
VisinaLopte	23,409	2	11,705	4,896	,009	,080
BrzinaLopte * VisinaLopte	25,502	4	6,376	2,667	,036	,086

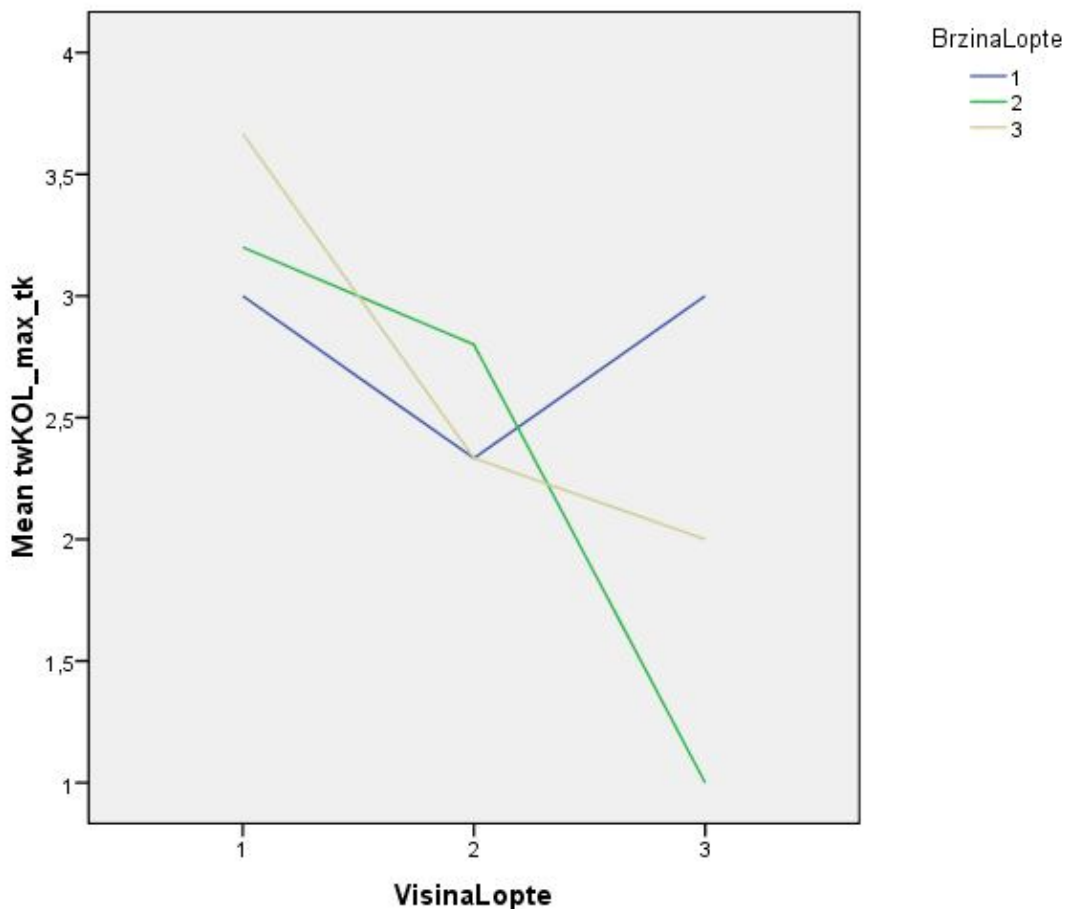
Tabela 8.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	,77*	,344	,026	,09	1,46
	3 Visoka	,72	,365	,053	-,01	1,44
2 Srednja	1 Niska	-,77*	,344	,026	-1,46	-,09
	3 Visoka	-,06	,333	,860	-,72	,60
3 Visoka	1 Niska	-,72	,365	,053	-1,44	,01
	2 Srednja	,06	,333	,860	-,60	,72

Primećen je statistički značajan uticaj faktora visine lopte ($p=0,009$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,468$) lopte na varijabilitet *vremena proteklog od trenutka ostvarivanja maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa lopotom (twKOL_max_tk)* (Tabela 8.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 8.3) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niskih i srednjih lopti ($p=0,026$). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i visokih, srednjih i visokih ($p=0,053$, $p=0,860$) lopti. Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable opadaju, dok za spore lopte beleže porast od srednjih ka visokim loptama (Grafik 8).



twKOL_max_tk (u sekundama *s*)

Grafik 8: Promene prosečnih vrednosti varijable **vreme proteklo od trenutka ostvarivanja maksimalne ugaone brzine u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom (*twKOL_max_tk*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Fudbaler – ispitanik na kraju egzekutivne faze procenjuje koliko je cela faza bila brza, i shodno tome, zbog završne kontrole, usporava pokret u neznatnoj meri. Proteklo vreme od uspostavljanja maksimalne brzine do neposrednog kontakta je od 100 – 150 milisekundi, što je dovoljno da se u dinamičnim uslovima izvede jedna korekcija. Može se reći da je faza usporenja najveća kod sporih lopti. Razlike ne postoje između srednje i visoke lopte. Usled odvođenja noge na srednje i veće visine, smanjuje se stepen slobode u pokretu, tako da se izvori za kalkulacije (u kretnji) smanjuju, pa je i vremenski period za korekciju manji na srednjim, a naročito većim visinama.

Ugaona brzina u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKUK_tk)

Ova varijabla je potrebna kako bi se ispitala programska šema pokreta, povezanost rotacionih kretanja segmenata kinetičkog lanca, čiji je rezultat maksimalna brzina kraja kinetičkog lanca. Varijabla opisuje promene vrednosti ugaone brzine u zglobu kuka u trenutku kontakta sa loptom u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 9.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	,9600	109,78300	12
	2 Srednja	-29,7533	105,53131	18
	3 Visoka	-39,0107	96,53146	30
2 Umerena	1 Niska	41,5080	98,45583	10
	2 Srednja	-6,6530	91,92917	20
	3 Visoka	65,3200	45,92675	6
3 Brza	1 Niska	19,7000	110,36519	10
	2 Srednja	18,3743	95,48348	14
	3 Visoka	2,3300	58,10453	4

Tabela 9.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

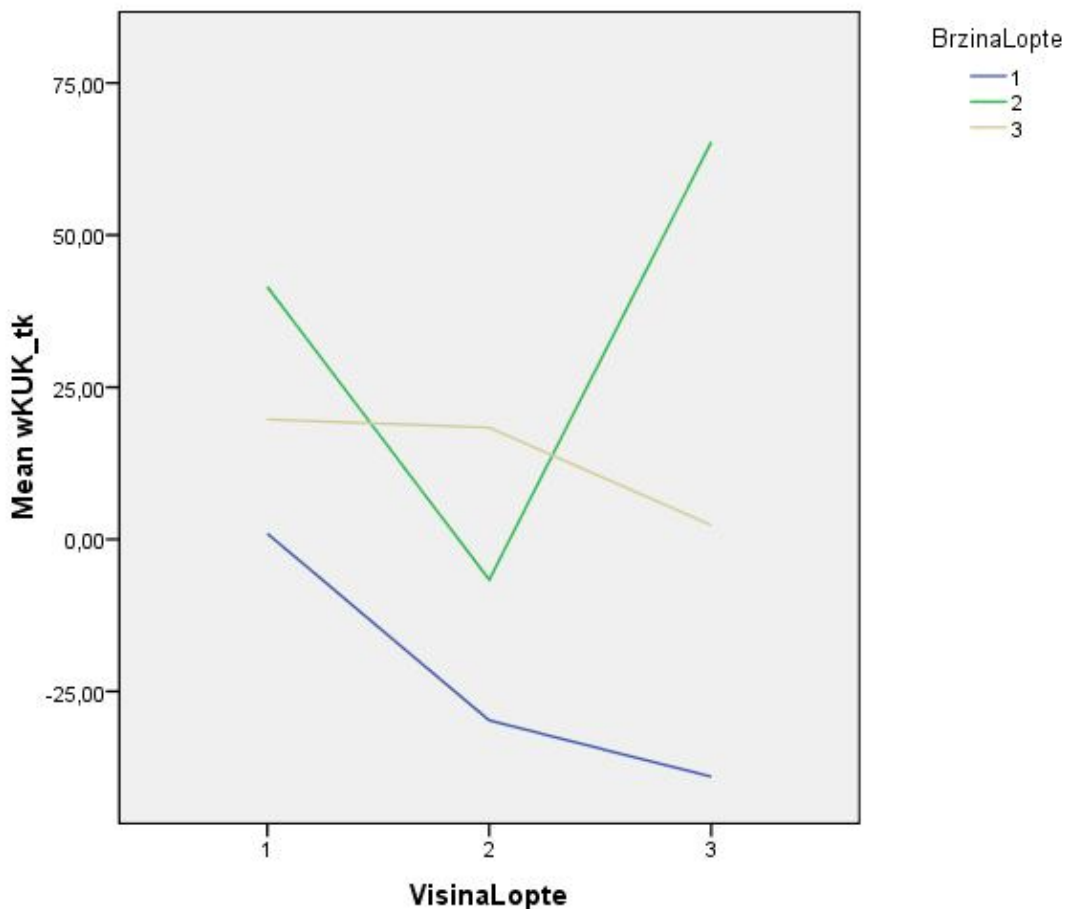
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	62227,552	2	31113,776	3,286	,041	,054
VisinaLopte	14421,732	2	7210,866	,762	,469	,013
BrzinaLopte * VisinaLopte	28858,112	4	7214,528	,762	,552	,026

Tabela 9.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-46,9599*	20,51289	,024	-87,5920	-6,3278
	3 Brza	-44,7950*	22,26921	,047	-88,9061	-,6840
2 Umerena	1 Spora	46,9599*	20,51289	,024	6,3278	87,5920
	3 Brza	2,1648	24,51760	,930	-46,3998	50,7295
3 Brza	1 Spora	44,7950*	22,26921	,047	,6840	88,9061
	2 Umerena	-2,1648	24,51760	,930	-50,7295	46,3998

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,041$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,469$) lopte na varijabilitet *ugaone brzine u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKUK_tk)* (Tabela 9.2). Rezultati Post hoc analize (Tabela 9.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,024$), i sporih i brzih lopti ($p=0,047$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,930$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte vrednost varijable opada za spore i brze lopte, dok se primećuje povećanje vrednosti za umerene, od srednjih ka visokim loptama (Grafik 9).



wKUK_tk (stepen/sekund °/s)

Grafik 9: Promene prosečnih vrednosti varijable **ugaona brzina u zglobu kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (wKUK_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Rezultati ukazuju na kvalitativno različite programe za ubrzavanje natkolenice u zglobu kuka za spore, brze i umerene lopte. Brzina udarca u voleju ne sme biti građena na račun ekstenzije u zglobu kolena, već je potrebno da cela šema pokreta bude slivena malom inicijalnom ugaonom brzinom u zglobu kuka, na koju se, po Berštajnovoj sinergiji, nadovezuje velika ekstenzija u zglobu kolena. Fudbaleri u veoma kratkom vremenskom periodu iščekuju loptu u vrlo nestabilnoj dinamičnoj poziciji. To iziskuje veliku koncentraciju u zadržavanju natkolenice, koja poseduje najveću masu u sličnoj poziciji provodeći natkolenicu malom brzinom prema napred, ne dozvoljavajući da zglob kolena u odnosu na pravac dolaska lopte pretekne kuk. Rezultati ukazuju na izrazito tešku kontrolu, u smislu konzistentnosti pokreta natkolenice, posle kojeg sledi izrazito brz pokret. Ovo

direktno govori o težini složenog motornog programa sadržanog od simultane veze sporog i brzog pokreta.

Maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (wKUK_max)

Ova varijabla je neophodna kako bi se utvrdio uticaj maksimalno ostvarene ugaone brzine u zglobu kuka na samu egzekutivnu fazu. Ona opisuje promene vrednosti ugaone brzine koje su nastale po osnovu brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 10.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	-508,9900	92,66767	12
	2 Srednja	-527,2078	37,53497	18
	3 Visoka	-476,1880	100,40066	30
2 Umerena	1 Niska	-404,1800	71,01848	10
	2 Srednja	-439,9070	92,19917	20
	3 Visoka	-439,0567	101,57174	6
3 Brza	1 Niska	-458,3480	90,00983	10
	2 Srednja	-463,6760	85,74323	10
	3 Visoka	-458,0050	123,54718	4

Tabela 10.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

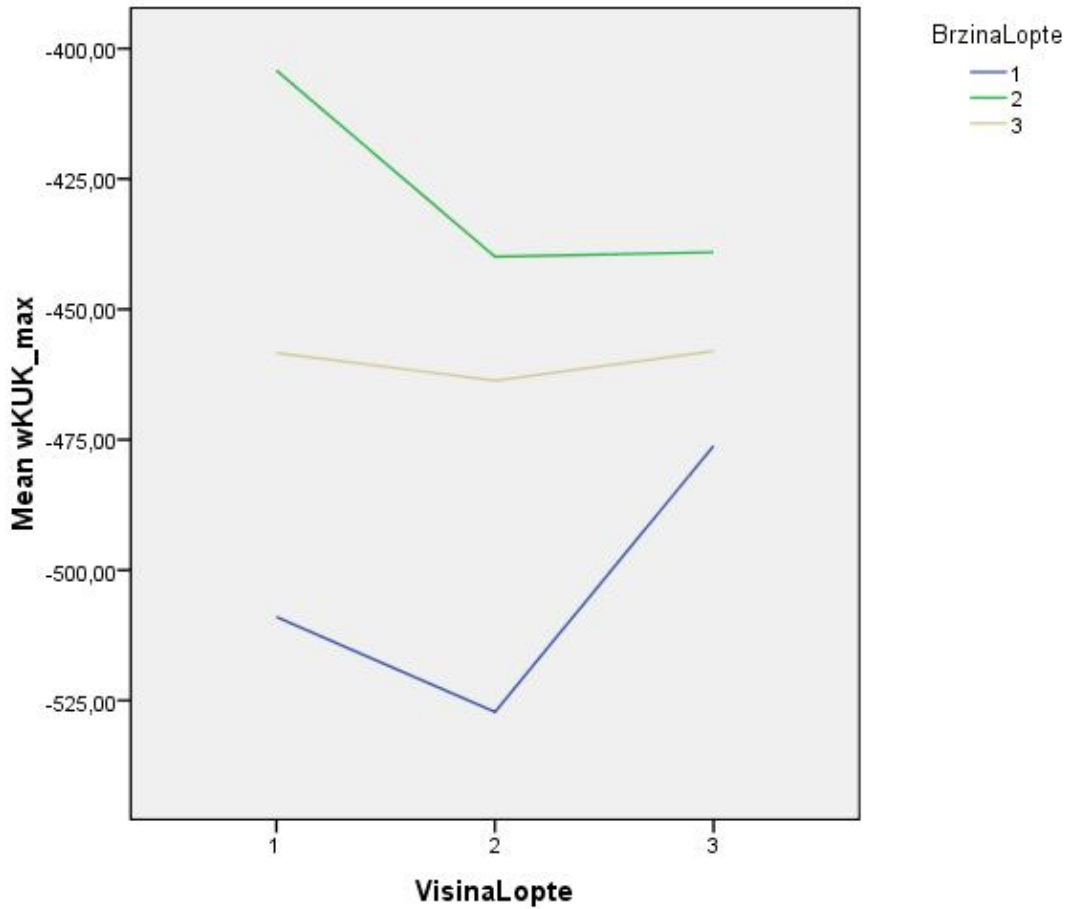
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	112234,228	2	56117,114	7,293	,001	,116
VisinaLopte	9055,810	2	4527,905	,588	,557	,010
BrzinaLopte * VisinaLopte	16294,154	4	4073,539	,529	,714	,019

Tabela 10.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-68,2132*	18,49280	,000	-104,8579	-31,5685
	3 Brza	-37,5435	21,18616	,079	-79,5253	4,4383
2 Umerena	1 Spora	68,2132*	18,49280	,000	31,5685	104,8579
	3 Brza	30,6697	23,11600	,187	-15,1362	76,4756
3 Brza	1 Spora	37,5435	21,18616	,079	-4,4383	79,5253
	2 Umerena	-30,6697	23,11600	,187	-76,4756	15,1362

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,001$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,557$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarene ugaone brzine u zglobu kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (wKUK_max)* (Tabela 10.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 10.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih lopti ($p=0,000$). Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih, umerenih i brzih lopti ($p=0,079$, $p=0,187$). Primećeno je da vrednosti varijable opadaju do srednjih visina, i beleže povećanje od srednjih ka visokim loptama (Grafik 10).



wKUK_max (stepen/sekund °/s)

Grafik 10: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (wKUK_max)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Rezultati ukazuju da maksimalno ostvarena ugaona brzina pri bočnom volej udarcu, nije bila od velikog značaja po neposrednoj egzekuciji, jer nisu postojale bitne razlike u reprodukciji pokreta, niti po osnovu visine, niti po osnovu brzine lopte.

Vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (twKUK_max_tk)

Ova varijabla je izdvojena kako bi se ispitalo da li se menja vremenska šema pokreta, u zavisnosti od brzine i visine lopte.

Tabela 11.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	23,80	2,440	10
	2 Srednja	22,56	3,568	18
	3 Visoka	26,15	3,791	26
2 Umerena	1 Niska	24,67	5,086	6
	2 Srednja	28,67	4,947	18
	3 Visoka	26,67	2,875	6
3 Brza	1 Niska	22,40	5,317	10
	2 Srednja	25,29	6,018	14
	3 Visoka	24,00	1,155	4

Tabela 11.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	116,229	2	58,115	3,077	,050	,056
VisinaLopte	66,239	2	33,119	1,754	,178	,033
BrzinaLopte * VisinaLopte	158,759	4	39,690	2,101	,086	,075

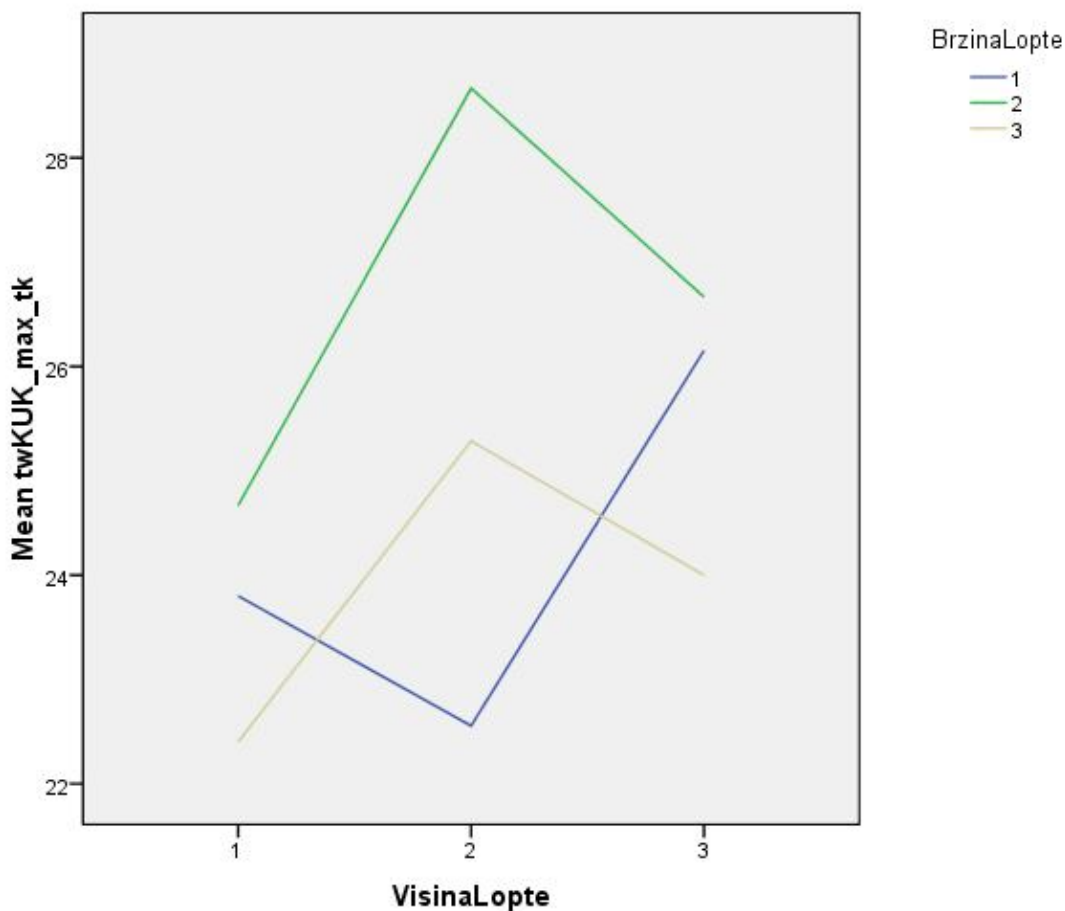
Tabela 11.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-2,95*	,990	,004	-4,91	-,99
	3 Brza	,45	1,012	,660	-1,56	2,45
2 Umerena	1 Spora	2,95*	,990	,004	,99	4,91
	3 Brza	3,40*	1,142	,004	1,13	5,66
3 Brza	1 Spora	-,45	1,012	,660	-2,45	1,56
	2 Umerena	-3,40*	1,142	,004	-5,66	-1,13

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,050$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,178$) lopte na varijabilitet *vremena proteklog od trenutka ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (twKUK_max_tk)* (Tabela 11.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 11.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,004$), i umerenih i brzih ($p=0,004$) lopti. Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih lopti ($p=0,660$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable za umerene i brze lopte opadaju, dok je za spore lopte primećeno opadanje, pa povećanje (Grafik 11).



twKUK_max_tk (u sekundama s)

Grafik 11: Promene prosečnih vrednosti varijable **vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne ugaone brzine u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (twKUK_max_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Najverovatnije da su zbog okolnosti težine izvođenja, ljudi ranije postizali maksimalnu brzinu. Rezultati ukazuju na nestabilnost ove varijable, jer se trajanje, od postizanja maksimuma ugaone brzine do kontakta stopala sa loptom, razlikuje za svaku od brzina.

Distanca između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom (Dkukpeta_tk)

Ova varijabla je potrebna kako bi se ispitala povezanost kraja kinetičkog lanca sa centrom zgloba kuka, ako znamo da sistem nezavisno funkcioniše od podsistema. Ona opisuje promene vrednosti između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 12.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	756,2683	73,18872	12
	2 Srednja	815,2550	54,10349	4
	3 Visoka	776,6612	43,39580	16
2 Umerena	1 Niska	767,2660	44,97328	10
	2 Srednja	778,5278	69,12190	18
	3 Visoka	784,9300	33,12836	4
3 Brza	1 Niska	801,6800	51,46769	10
	2 Srednja	813,8786	66,75399	14
	3 Visoka	868,9900	,00000	2

Tabela 12.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	24494,861	2	12247,431	3,537	,034	,080
VisinaLopte	15322,336	2	7661,168	2,213	,116	,052
BrzinaLopte * VisinaLopte	11013,123	4	2753,281	,795	,532	,038

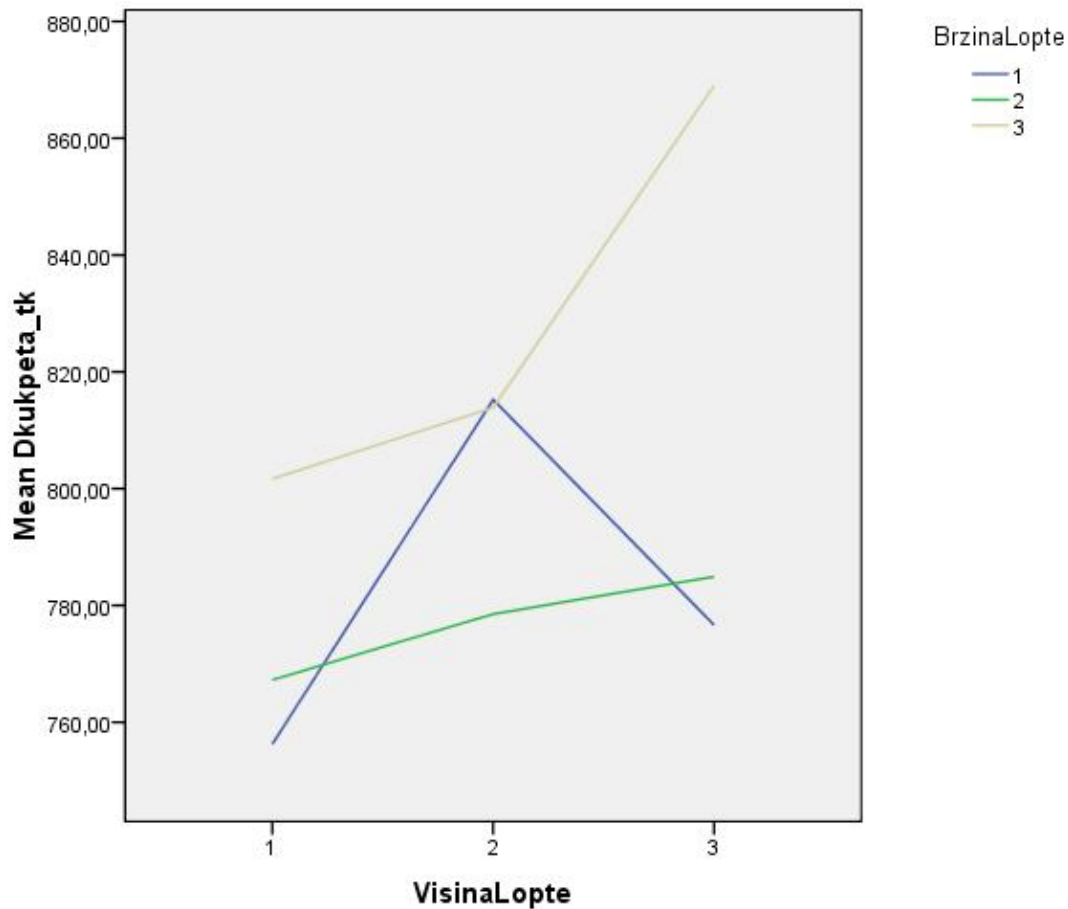
Tabela 12.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-1,9706	14,71018	,894	-31,2393	27,2980
	3 Brza	-39,5880*	15,53568	,013	-70,4992	-8,6769
2 Umerena	1 Spora	1,9706	14,71018	,894	-27,2980	31,2393
	3 Brza	-37,6174*	15,53568	,018	-68,5285	-6,7063
3 Brza	1 Spora	39,5880*	15,53568	,013	8,6769	70,4992
	2 Umerena	37,6174*	15,53568	,018	6,7063	68,5285

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,034$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,116$) lopte na varijabilitet *distance između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom (Dkukpeta_tk)* (Tabela 12.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 12.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte postoji statistički značajna razlika između sporih i brzih ($p=0,013$), i umerenih i brzih ($p=0,018$) lopti. Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i umerenih lopti ($p=0,894$). Primećeno je da se, sa povećanjem visine lopte vrednosti varijable povećavaju, osim za spore koje beleže povećanje pa opadanje (Grafik 12).



Dkukpeta_tk (u milimetrima *mm*)

Grafik 12: Promene prosečnih vrednosti varijable **distanca između kuka i pete u trenutku kontakta stopala sa loptom (Dkukpeta_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Prepoznavanje završnog položaja u neposrednom kontaktu sa podlogom je, za spore i umerene brzine, ista. Defakto, razlika brzih u odnosu na spore i umerene lopte postoji. U ovom slučaju, motorni program dozvoljava nešto veće opružanje u zglobu kolena. Pretpostavlja se da je, i pored egzekutivne faze, veoma bitna i postegzekutivna faza, pa s tim u vezi, opruženija noga, u završnoj fazi za brže, lopte podrazumeva mirnu i sve sporiju post fazu, usled povećanog momenta inercije celog sistema. Za lopte koje inače nemaju veliku količinu kretanja, potrebno je unaprediti njihovo kretanje dodatnim ubrzavanjem sistema, sa uslovima nešto flektirane noge, gde se dodatni efekat, u smislu povećanja brzine lopte, postiže smanjenim momentom inercije.

Ugao koje zaklapaju ose rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (angRKP_ik)

Ova varijabla je izdvojena kako bi se utvrdilo da li je ona, kao takva, senzitivna na promene izvođenja motornog zadatka. Ona opisuje promene ugla između osa rame-kuk i kuk-peta, u trenutku kontakta stopala sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine lopte.

Tabela 13.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	129,5033	10,33341	12
	2 Srednja	121,5400	3,27935	4
	3 Visoka	120,7338	9,97479	16
2 Umerena	1 Niska	135,5340	3,95972	10
	2 Srednja	134,9967	5,84718	18
	3 Visoka	116,7900	8,71799	4
3 Brza	1 Niska	131,8800	4,45909	10
	2 Srednja	138,9571	9,15331	14
	3 Visoka	141,7500	,00000	2

Tabela 13.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	1560,753	2	780,376	12,854	,000	,241
VisinaLopte	300,849	2	150,425	2,478	,090	,058
BrzinaLopte * VisinaLopte	1198,717	4	299,679	4,936	,001	,196

Tabela 13.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-8,7656*	1,94796	,000	-12,6415	-4,8898
	3 Brza	-12,3269*	2,05728	,000	-16,4202	-8,2335
2 Umerena	1 Spora	8,7656*	1,94796	,000	4,8898	12,6415
	3 Brza	-3,5613	2,05728	,087	-7,6546	,5321
3 Brza	1 Spora	12,3269*	2,05728	,000	8,2335	16,4202
	2 Umerena	3,5613	2,05728	,087	-,5321	7,6546

Tabela 13.4

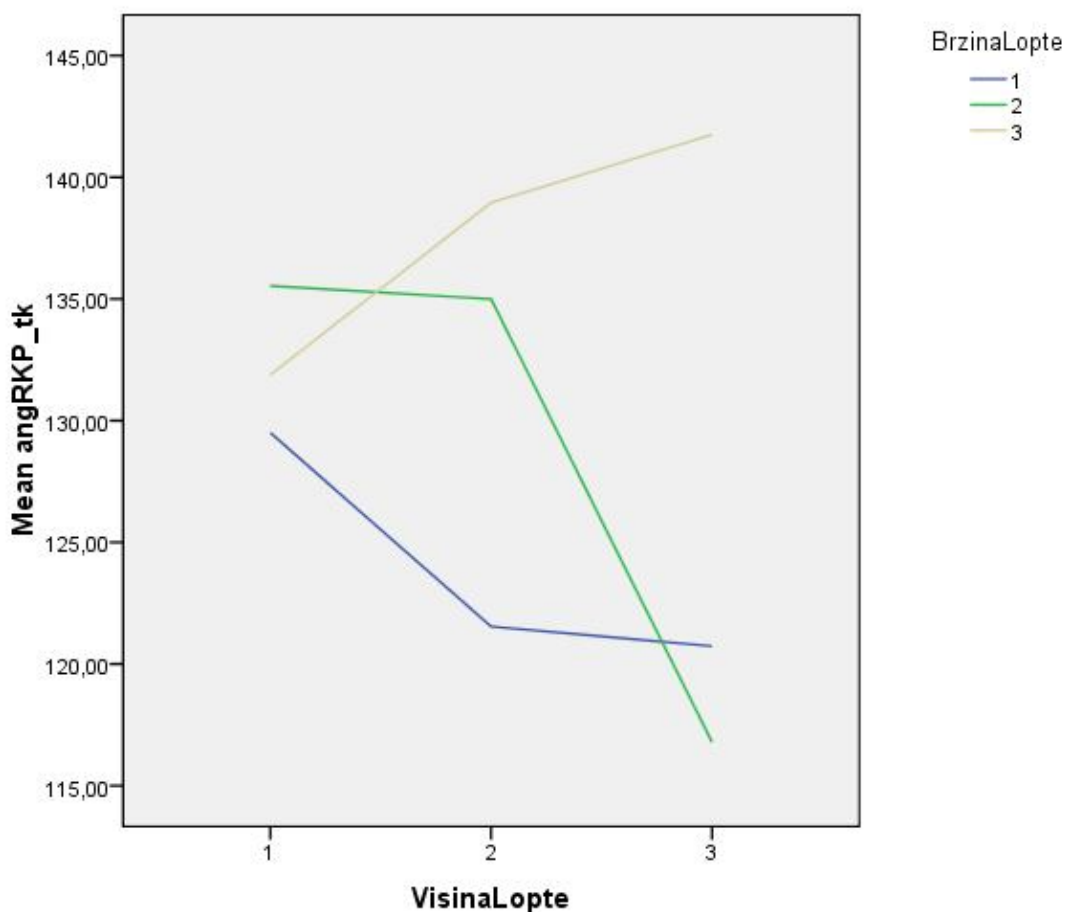
Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	-2,9110	1,89308	,128	-6,6777	,8556
	3 Visoka	10,2034*	2,15800	,000	5,9096	14,4971
2 Srednja	1 Niska	2,9110	1,89308	,128	-,8556	6,6777
	3 Visoka	13,1144*	2,10859	,000	8,9190	17,3098
3 Visoka	1 Niska	-10,2034*	2,15800	,000	-14,4971	-5,9096
	2 Srednja	-13,1144*	2,10859	,000	-17,3098	-8,9190

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,000$) lopte, a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,090$) lopte na varijabilitet *ugla koji zaklapaju ose rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (angRKP_{tk})* (Tabela 13.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 13.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,000$), i sporih i brzih lopti

($p=0,000$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,087$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 13.4) ukazuju da je kod faktora visine lopte, primećena statistički značajna razlika između niske i visoke ($p=0,000$), i srednje i visoke lopte ($p=0,000$). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i srednjih lopti ($p=0,128$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte vrednosti varijabli opadaju, osim za brze lopte gde se beleži povećanje (Grafik 13).



angRKP_tk (stepen °)

Grafik 13: Promene prosečnih vrednosti varijable **ugao koje zaklapaju ose rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (*angRKP_tk*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Pri dolasku visokih lopti, ugao se smanjuje. To se tumači tako da se stvara fleksija između trupa i udarne noge u trenutku kontakta, što važi za spore i umerene lopte, dok za brze, telo mora da napravi otklon u suprotnu stranu. Drugim rečima, fudbaler mora da napravi opuštanje između ovih osa sa veoma malom laterofleksijom, za razliku od

prethodnih, gde je ona jako izražena. Rezultati ukazuju da brzina lopte u odnosu na visinu lopte nezavisno utiče na otklon trupa u odnosu na osu noge. Takođe, rezultati upućuju da početni uslovi otklona trupa veoma zavise od brzine lopte, a u nešto smanjenoj meri na visinu lopte. To ukazuje da susedni delovi tela utiču na ravnotežu i stabilnost i da moraju biti, u odnosu na brzinu, precizno pozicionirani. Primećujemo da, sa povećanjem brzine, taj otklon postaje veći u suprotnom smeru, što dodatno ukazuje da brže lopte utiču na to da kontakt stopala sa loptom bude u što pruženijoj poziciji, a to se slaže sa prethodnim rezultatom. Na nivou svake od brzina, visina kontakta lopte na isti način utiče na ovu varijablu, kada su u pitanju spore ili umerene lopte. Dovoljno veliko vreme obezbeđuje da sistem održi dinamičnu ravnotežu sve većom laterofleksijom, kako se visina lopte povećava. Kod brzih lopti, to bi stvaralo dodatnu veliku nesigurnost, što nije slučajnost.

Ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (wRKP_{tk})

Ova varijabla je potrebna da bi se utvrdile karakteristike pokreta, kada se ceo sistem rotira i kakav je njegov uticaj na kraj kinetičkog lanca. Ona opisuje promene ugaonih brzina između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 14.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	-179,4633	216,77643	12
	2 Srednja	-232,0700	,00000	2
	3 Visoka	-213,7844	186,83272	18
2 Umerena	1 Niska	-327,5360	7,82174	10
	2 Srednja	-277,9238	167,59079	16
	3 Visoka	-363,4050	162,28739	4
3 Brza	1 Niska	-256,3825	105,11700	8
	2 Srednja	-95,1483	110,80435	12
	3 Visoka	-196,7900	,00000	2

Tabela 14.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	197404,697	2	98702,349	4,059	,021	,098
VisinaLopte	29999,875	2	14999,937	,617	,542	,016
BrzinaLopte * VisinaLopte	68539,599	4	17134,900	,705	,591	,036

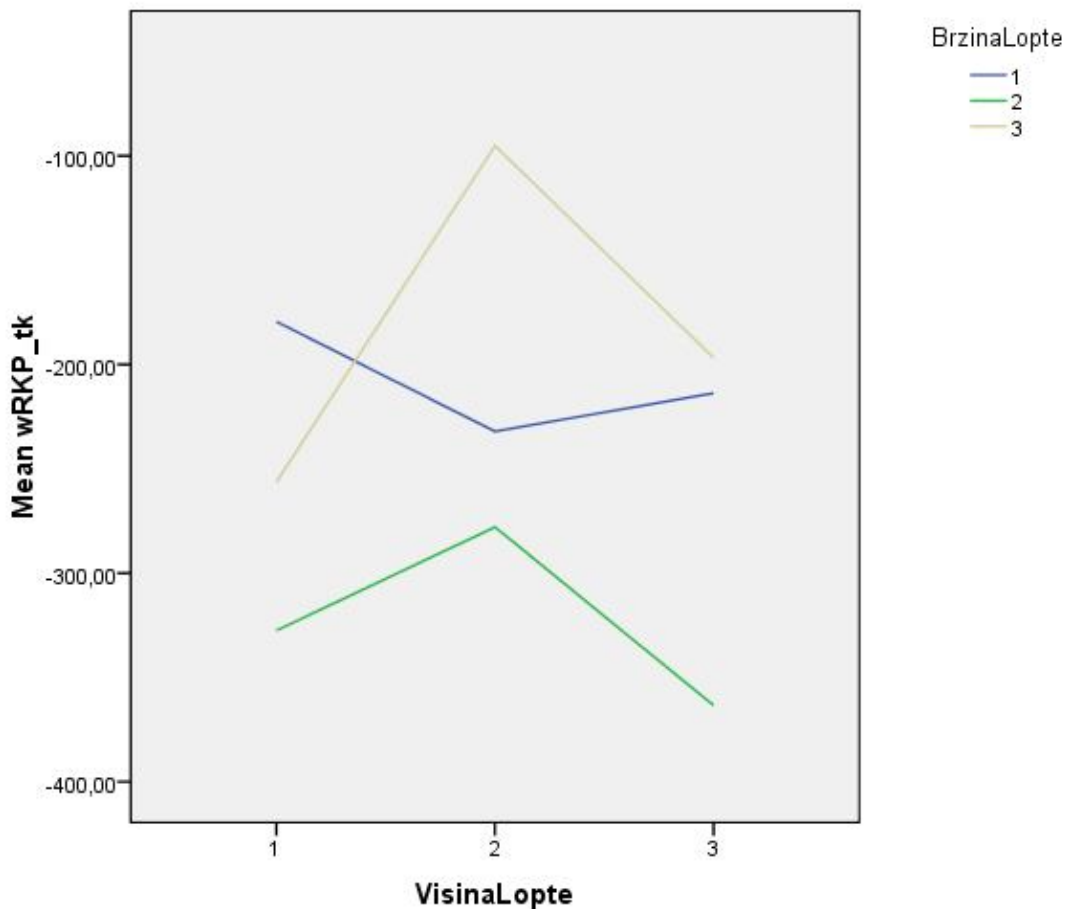
Tabela 14.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	103,8018 [*]	39,62713	,011	24,8605	182,7431
	3 Brza	-39,0378	43,18600	,369	-125,0687	46,9931
2 Umerena	1 Spora	-103,8018 [*]	39,62713	,011	-182,7431	-24,8605
	3 Brza	-142,8396 [*]	43,76854	,002	-230,0310	-55,6482
3 Brza	1 Spora	39,0378	43,18600	,369	-46,9931	125,0687
	2 Umerena	142,8396 [*]	43,76854	,002	55,6482	230,0310

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,021$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,542$) lopte na varijabilitet *ugaone brzine između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (wRKP_{tk})* (Tabela 14.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 14.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,011$), i umerenih i brzih lopti ($p=0,002$). Nije primećena statistički značajna razlika između sporih i brzih lopti ($p=0,369$). Primećeno je da se, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable za brze i umerene lopte povećava do srednjih visina, a onda opada. Vrednost varijable za spore lopte opada do srednjih visina, a onda se povećava (Grafik 14).



wRKP_tk (stepen/sekund °/s)

Grafik 14: Promene prosečnih vrednosti varijable **ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta u trenutku kontakta stopala sa loptom (wRKP_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Rezultati ukazuju na to da, za brze lopte, postoje manja usporenja, nego za spore i umerene lopte. Za velike brzine, sistem se rotira u celini sa sličnim karakteristikama i nema velike mogućnosti za usporavanjem centralnog dela tela, da bi se periferni, u vidu biča, bolje ispoljavao. Postoji manja mogućnost za usporenje usled većeg otklona trupa, u suprotnom smeru od smera dolaska lopte. Za spore lopte, manji je otklon trupa, kao i to da isčekivanje sporije lopte ide sa sporijim kretanjem natkolenice. To za posledicu ima manji intezitet usporenja trupa i natkolenice. Sa druge strane, preveliko usporenje u otklonu trupa i natkolenice, izuzelo bi doprinos uticaja cele telesne mase na brzinu kraja kinetičkog lanca.

Maksimalno ostvarena ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta pri izvođenju bočnog volej udarca (wRKP_max)

Ova varijabla je potrebna da bismo saznali da li su karakteristike pokreta istovremeno kriterijum uspešnosti. Maksimalne ugaone brzine realizuju se u brzim ili umerenim uslovima i zbog toga je neophodno njihovo praćenje. Ona opisuje promene maksimalno ostvarene ugaone brzine između osa rame-kuk i kuk-peta, pri izvođenju bočnog volej udarca u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 15.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	-45,6700	379,16833	12
	2 Srednja	-277,5400	,00000	2
	3 Visoka	-421,7580	282,62709	20
2 Umerena	1 Niska	-394,8300	55,17395	10
	2 Srednja	-145,2050	361,55322	16
	3 Visoka	-427,9450	115,77605	4
3 Brza	1 Niska	-149,9000	348,36227	10
	2 Srednja	-223,2257	416,85204	14
	3 Visoka	304,9700	,00000	2

Tabela 15.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	763035,796	2	381517,898	3,645	,031	,083
VisinaLopte	7331,141	2	3665,571	,035	,966	,001
BrzinaLopte * VisinaLopte	1571077,290	4	392769,323	3,752	,008	,156

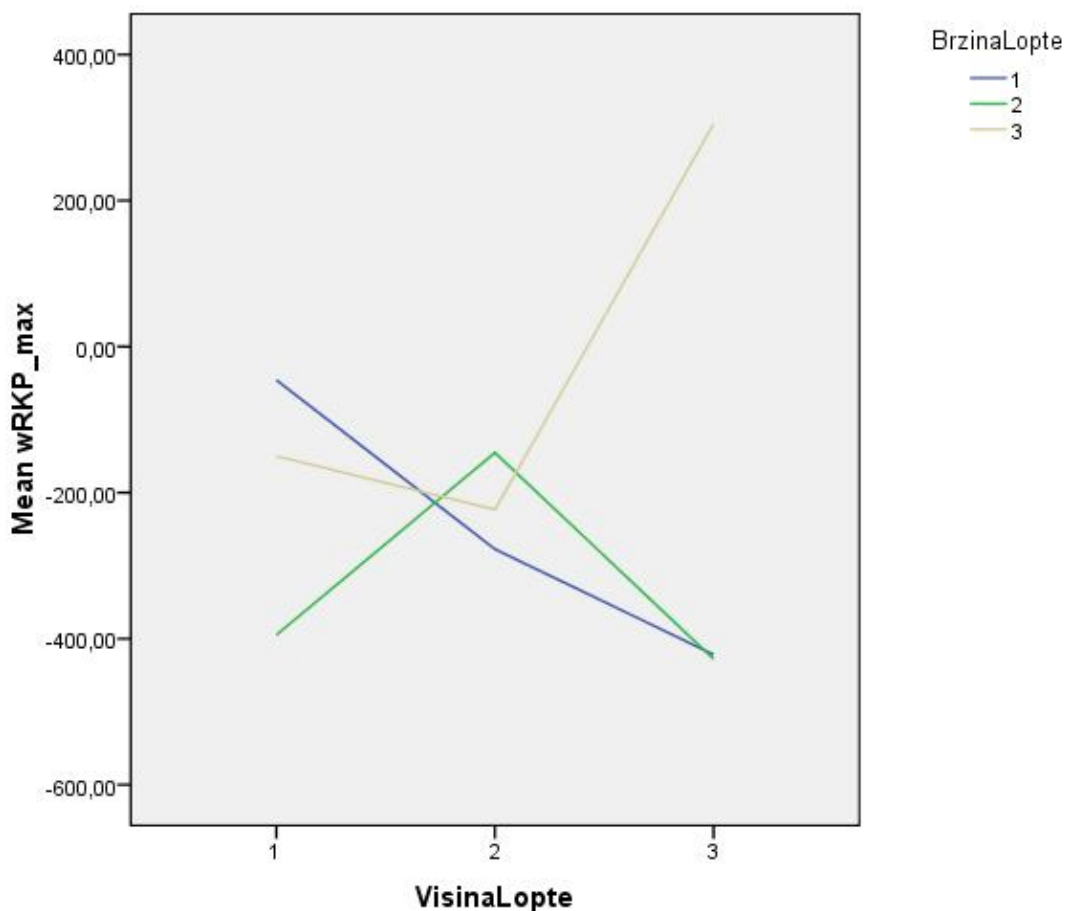
Tabela 15.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modaliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-14,4256	81,04244	,859	-175,6747	146,8234
	3 Brza	-126,1446	84,28923	,138	-293,8537	41,5646
2 Umerena	1 Spora	14,4256	81,04244	,859	-146,8234	175,6747
	3 Brza	-111,7189	86,69006	,201	-284,2050	60,7671
3 Brza	1 Spora	126,1446	84,28923	,138	-41,5646	293,8537
	2 Umerena	111,7189	86,69006	,201	-60,7671	284,2050

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,031$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,966$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarene ugaone brzine između osa rame-kuk i kuk-peta pri izvođenju bočnog volej udarca (wRKP_max)* (Tabela 15.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 15.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, ne postoji statistički značajna razlika između bilo kog modaliteta ($p=0,859$, $p=0,138$, $p=0,201$). Sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable se smanjuju za spore i umerene lopte, a povećavaju za brze lopte (Grafik 15).



$wRKP_{max}$ (stepen/sekund °/s)

Grafik 15: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvarena ugaona brzina između osa rame-kuk i kuk-peta pri izvođenju bočnog volej udarca ($wRKP_{max}$)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Postoji odgovarajući sklad između ugaonih brzina tokom kontakta, sa maksimalnim ugaonim brzinama pre kontakta. Nedovoljne razlike u maksimalnoj ugaonoj brzini između različitih visina, na nivou svake od brzina, ukazuju da se pokret izvodi na sličan način i da nije dominantna karakteristika pri izvođenju pokreta bočnog volej udarca.

**Maksimalno ostvarena brzina centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca
(velKUK_max)**

Ova varijabla je izdvojena kao takva, da bi se dobio uvid na koji način se generiše maksimalna brzina poslednjeg segmenta u nizu, i kakav je uticaj segmenta na kretanje sistema ka napred. Ona opisuje promene brzine centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca, u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 16.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	1550,40	447,153	12
	2 Srednja	1417,94	369,997	18
	3 Visoka	1463,48	460,326	30
2 Umerena	1 Niska	1829,62	465,459	10
	2 Srednja	1626,80	418,234	20
	3 Visoka	1408,01	190,485	6
3 Brza	1 Niska	1869,97	309,481	10
	2 Srednja	1721,32	256,181	14
	3 Visoka	1530,98	,000	2

Tabela 16.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	752543,249	2	376271,625	2,383	,097	,040
VisinaLopte	882230,568	2	441115,284	2,794	,065	,047
BrzinaLopte * VisinaLopte	381612,735	4	95403,184	,604	,660	,021

Tabela 16.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-179,47*	83,770	,034	-345,43	-13,51
	3 Brza	-296,64*	93,297	,002	-481,48	-111,81
2 Umerena	1 Spora	179,47*	83,770	,034	13,51	345,43
	3 Brza	-117,17	102,267	,254	-319,78	85,44
3 Brza	1 Spora	296,64*	93,297	,002	111,81	481,48
	2 Umerena	117,17	102,267	,254	-85,44	319,78

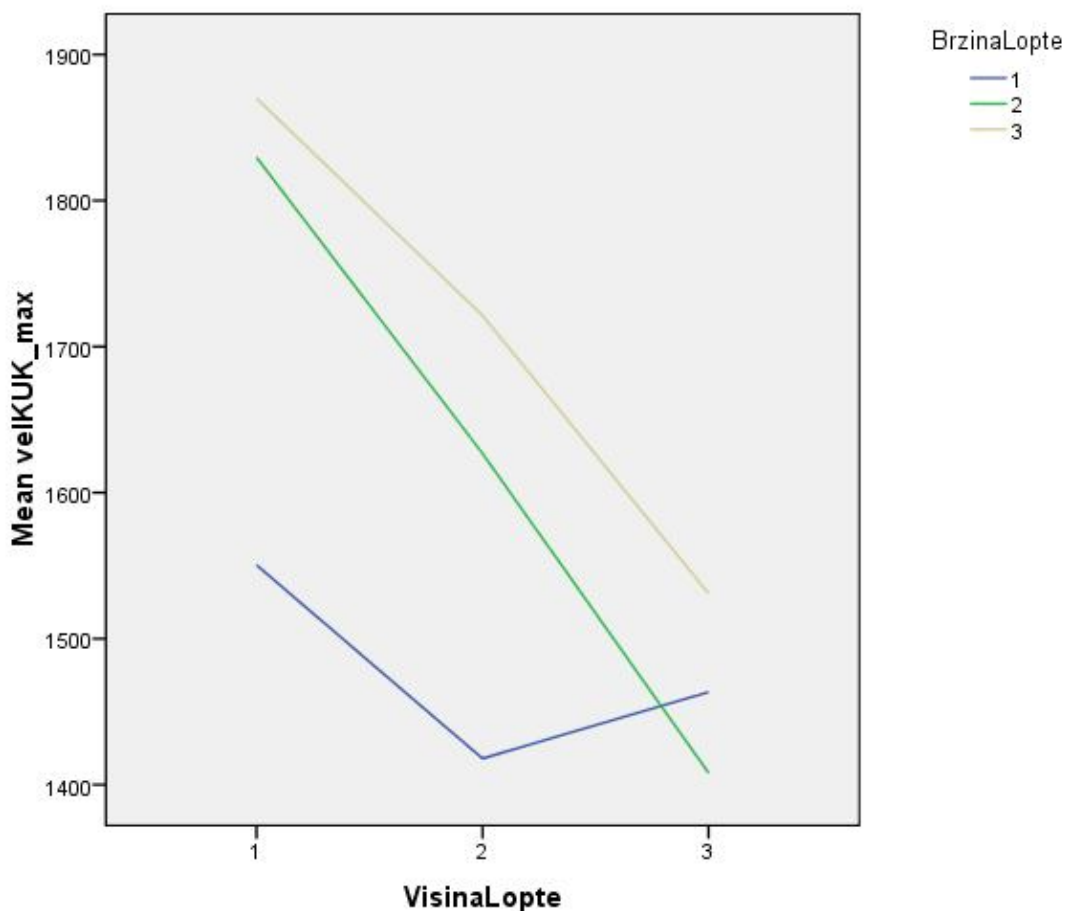
Tabela 16.4

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	157,57	89,277	,080	-19,30	334,45
	3 Visoka	279,24*	95,337	,004	90,36	468,12
2 Srednja	1 Niska	-157,57	89,277	,080	-334,45	19,30
	3 Visoka	121,67	84,802	,154	-46,34	289,68
3 Visoka	1 Niska	-279,24*	95,337	,004	-468,12	-90,36
	2 Srednja	-121,67	84,802	,154	-289,68	46,34

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,097$) i visine ($p=0,065$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarene brzine centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (velKUK_max)* (Tabela 16.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 16.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,034$), i sporih i brzih lopti ($p=0,002$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,254$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 16.4)

ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niske i visoke lopte ($p=0,004$). Nije primećena statistički značajna razlika između niske i srednje, srednje i visoke lopte ($p=0,080$, $p=0,154$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable opadaju, osim za spore lopte gde se primećuje povećanje od srednjih ka visokim loptama (Grafik 16).



velKUK_max (stepen/sekund °/s)

Grafik 16: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvarena brzina centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (*velKUK_max*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Kada su veće visine lopte, centar zgloba kuka vrši rotaciono pomeranje na račun translatornog, usled nedostatka prostora za brži kraj kinetičkog lanca (kada su niže pozicije lopte, sistem se može pomerati translatorno). Linijska brzina je manja, a u skladu sa tim je i pomeranje tela prema napred manje. Sa druge strane, uslov za niskim loptama dozvoljava veću amplitudu pokreta ka napred, što podrazumeva veću brzinu pokreta. Može se reći da se motorni programi kvalitativno razlikuju za spore i brze lopte jer, ako je brzina centra zgloba kuka veća, ona vuče ceo sistem ka napred relativno brzo i time se stopalo dovodi u poziciju preuranjene egzekucije.

Brzina centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKUK_tk)

Ova varijabla je potrebna zato što uspešnost ovog tipa motornog zadatka zavisi od pravovremenog tajminga, i da bi se on realizovao, sistem mora da se upravlja kontrolom u brzini pokreta. Varijabla opisuje promene vrednosti brzine centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 17.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	770,747	254,1224	12
	2 Srednja	1081,804	454,3146	18
	3 Visoka	963,427	472,7926	30
2 Umerena	1 Niska	829,576	224,4596	10
	2 Srednja	1001,587	454,4696	20
	3 Visoka	796,710	502,4397	6
3 Brza	1 Niska	735,367	364,9870	12
	2 Srednja	943,667	268,2764	14
	3 Visoka	1093,810	365,2433	4

Tabela 17.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	73411,354	2	36705,677	,224	,799	,004
VisinaLopte	1096359,339	2	548179,670	3,350	,038	,054
BrzinaLopte * VisinaLopte	344034,765	4	86008,691	,526	,717	,018

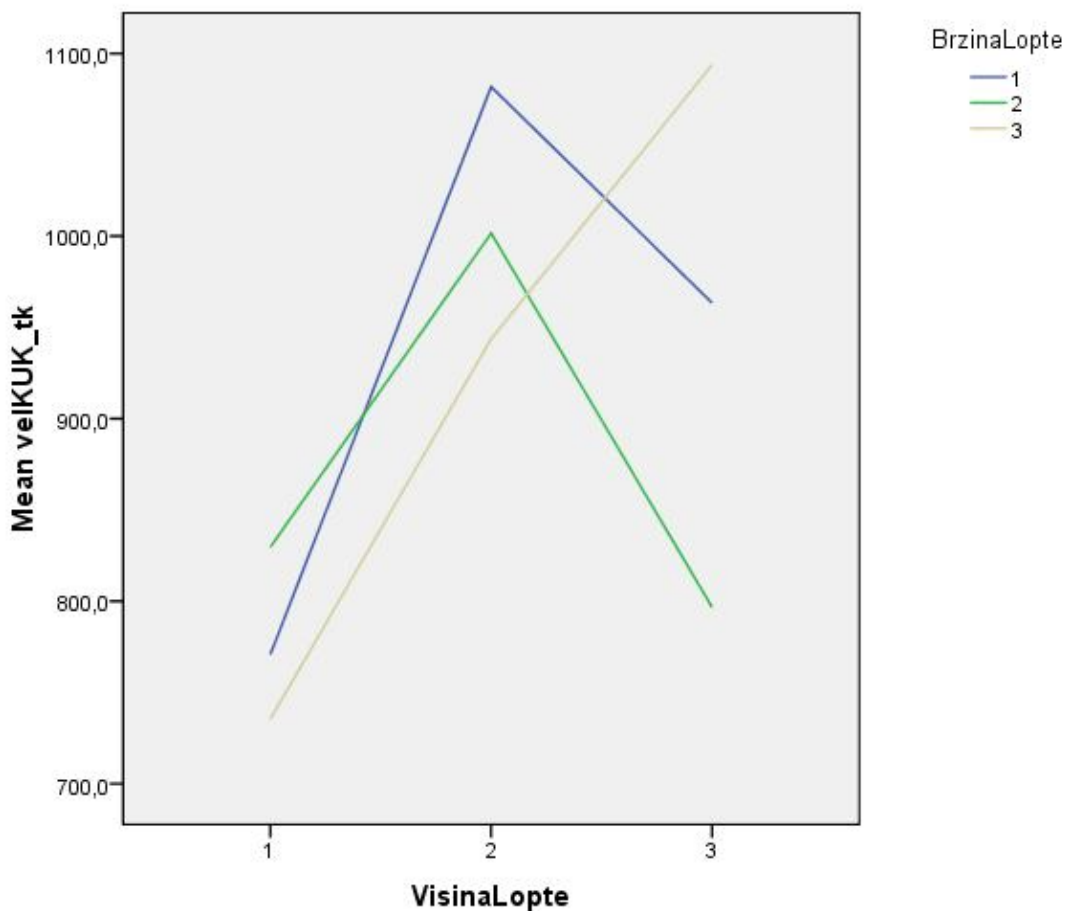
Tabela 17.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	-238,198*	89,2110	,009	-414,876	-61,521
	3 Visoka	-175,895	94,3532	,065	-362,757	10,966
2 Srednja	1 Niska	238,198*	89,2110	,009	61,521	414,876
	3 Visoka	62,303	85,0692	,465	-106,172	230,778
3 Visoka	1 Niska	175,895	94,3532	,065	-10,966	362,757
	2 Srednja	-62,303	85,0692	,465	-230,778	106,172

Primećen je statistički značajan uticaj faktora visine lopte ($p=0,038$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,799$) lopte na varijabilitet *brzine centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKUK_tk)* (Tabela 17.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 17.3) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niskih i srednjih lopti ($p=0,009$). Nije primećena statistički značajna razlika između niskih i visokih, srednjih i visokih lopti ($p=0,065$, $p=0,465$). Primećeno je da se, sa povećanjem visine lopte vrednost varijable povećava do srednjih visina, a onda opada, osim za brze lopte koje nastavljaju sa povećanjem vrednosti (Grafik 17).



velKUK_tk (metar/sekund *m/s*)

Grafik 17: Promene prosečnih vrednosti varijable **brzina centra zgloba kuka u trenutku kontakta stopala sa loptom (*velKUK_tk*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Poštujući principe Bernštajnovе sinergije, u trenutku kontakta, sistem se ponaša u granicama korektnog odnosa linijskih brzina kraja kinetičkog lanca u odnosu na proksimalne (masivnije) segmente tela. Taj odnos je 1:5:12 u smislu multiplikovanja brzine kraja kinetičkog lanca. Najmirniju poziciju centra zgloba kuka obezbeđuju najniže pozicije lopte. Ovo dodatno potvrđuju rezultati brzine pomeranja kraja kinetičkog lanca, gde se izraženo vidi da su, pri umerenim i sporim pokretima u niskim pozicijama, vrednosti brzine daleko najveće.

Vreme proteklo od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom (t_velKUK_max_tk)

Ova varijabla je izdvojena kako bi se ispitalo da li se menja vremenska šema izvođenja pokreta u zavisnosti od brzine i visine lopte. Ona opisuje vremenski interval (šemu izvođenja pokreta) u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 18.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	13,83	3,215	12
	2 Srednja	9,56	5,382	18
	3 Visoka	11,67	7,406	30
2 Umerena	1 Niska	16,60	5,835	10
	2 Srednja	14,30	5,602	20
	3 Visoka	13,67	5,955	6
3 Brza	1 Niska	14,00	3,717	12
	2 Srednja	14,00	4,090	12
	3 Visoka	15,00	8,083	4

Tabela 18.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	224,988	2	112,494	3,397	,037	,056
VisinaLopte	95,088	2	47,544	1,436	,242	,024
BrzinaLopte * VisinaLopte	79,286	4	19,822	,598	,664	,020

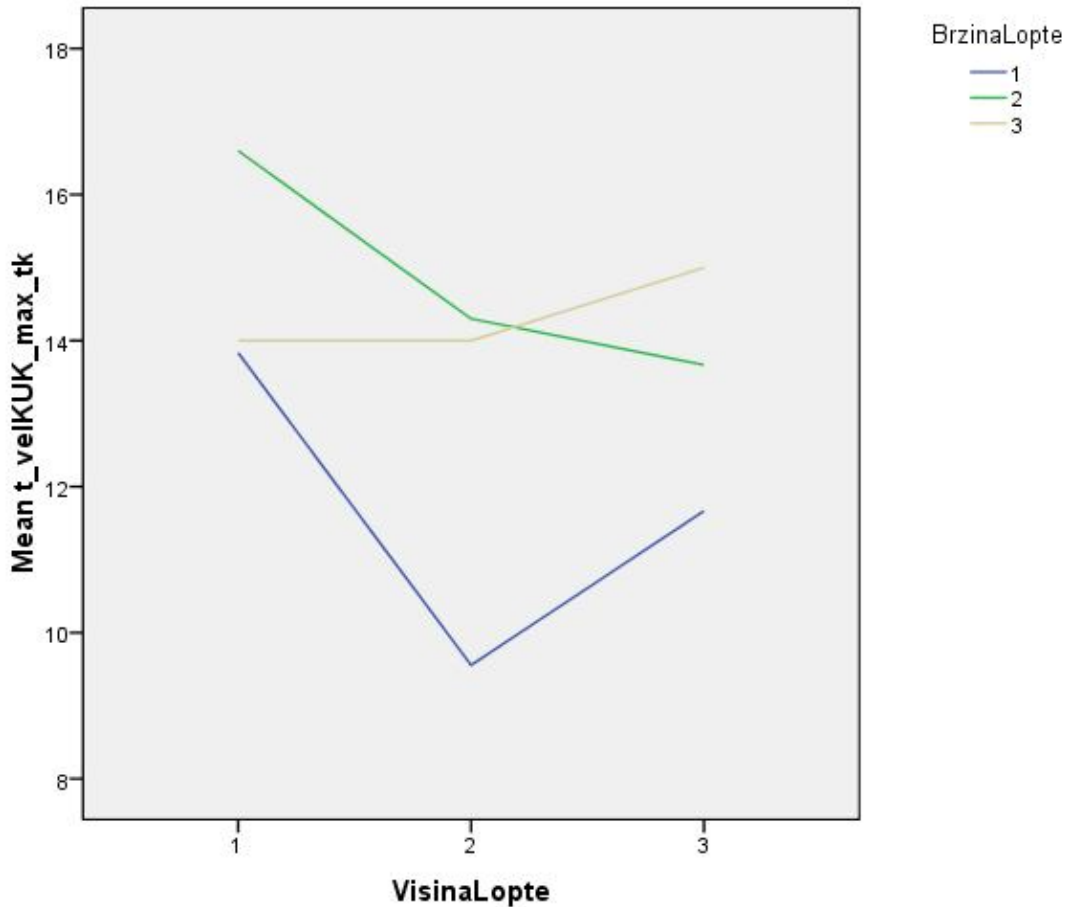
Tabela 18.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-3,37*	1,213	,006	-5,77	-,96
	3 Brza	-2,68*	1,317	,044	-5,29	-,07
2 Umerena	1 Spora	3,37*	1,213	,006	,96	5,77
	3 Brza	,69	1,450	,635	-2,18	3,56
3 Brza	1 Spora	2,68*	1,317	,044	,07	5,29
	2 Umerena	-,69	1,450	,635	-3,56	2,18

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,037$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,242$) lopte na varijabilitet *vremena proteklog od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom ($t_{velKUK_max_tk}$)* (Tabela 18.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 18.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,006$), i sporih i brzih lopti ($p=0,044$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,635$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable opada za spore i umereno brze lopte do srednjih visina, a onda se primećuje porast. Vrednosti umereno brzih lopte beleže opadanje sa povećanjem visine lopte (Grafik 18).



$t_{velKUK_max_tk}$ (u sekundama s)

Grafik 18: Promene prosečnih vrednosti varijable **vreme proteko od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom ($t_{velKUK_max_tk}$)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Ljudi u brzim pokretima usporavaju duže nego u umerenim i sporim, ali je to vremenski ispod nivoa jedne korekcije. Bez obzira što su pokreti ostvareni pri dolasku brzih lopti takođe prilično brzi, linijska brzina pomeranja centra zgloba kuka pri dolasku najbržih lopti morala je biti duže usporena. Razlog tome je da se brže lopte sporije percipiraju, to jest procena dolaska lopte je daleko teža. S tim u vezi, postizanje maksimalne brzine centra zgloba kuka, kao kraja kinetičkog lanca od koga zavisi brzina celog lanca, ne sme biti bez kalkucija. U slučaju kada bi on posedovao, kao najmasivniji, ekstremno veliku brzinu (bez padova), pokret bi često bio preuranjen i izostala bi precizna egzekutivna faza. Razlike između, upućuju na kvalitativno značajne razlike u kreiranju programa u svom drugom delu

egzekutivne faze, gde se trajanje usporenja značajno razlikuje u odnosu na to kojom brzinom dolazi do fudbalera.

Brzina centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKOL_tk)

Ova varijabla je potrebna da bi se ispitalo kako pravovremeni tajming utiče na uspešnost izvođenja motornog zadatka. Da bi se on realizovao, sistem mora da se upravlja kontrolom u brzini pokreta. Varijabla opisuje promene vrednosti brzine centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine lopte.

Tabela 19.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	2203,2783	618,03750	12
	2 Srednja	2085,8433	611,71001	18
	3 Visoka	2156,0227	598,42652	30
2 Umerena	1 Niska	2377,3820	741,60788	10
	2 Srednja	1951,3090	542,22380	20
	3 Visoka	2050,0200	723,05833	6
3 Brza	1 Niska	2671,7217	684,28718	12
	2 Srednja	2267,8514	699,66748	14
	3 Visoka	2134,8500	606,62193	4

Tabela 19.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	834091,698	2	417045,849	1,044	,355	,018
VisinaLopte	2233324,049	2	1116662,024	2,797	,065	,046
BrzinaLopte * VisinaLopte	711154,310	4	177788,578	,445	,776	,015

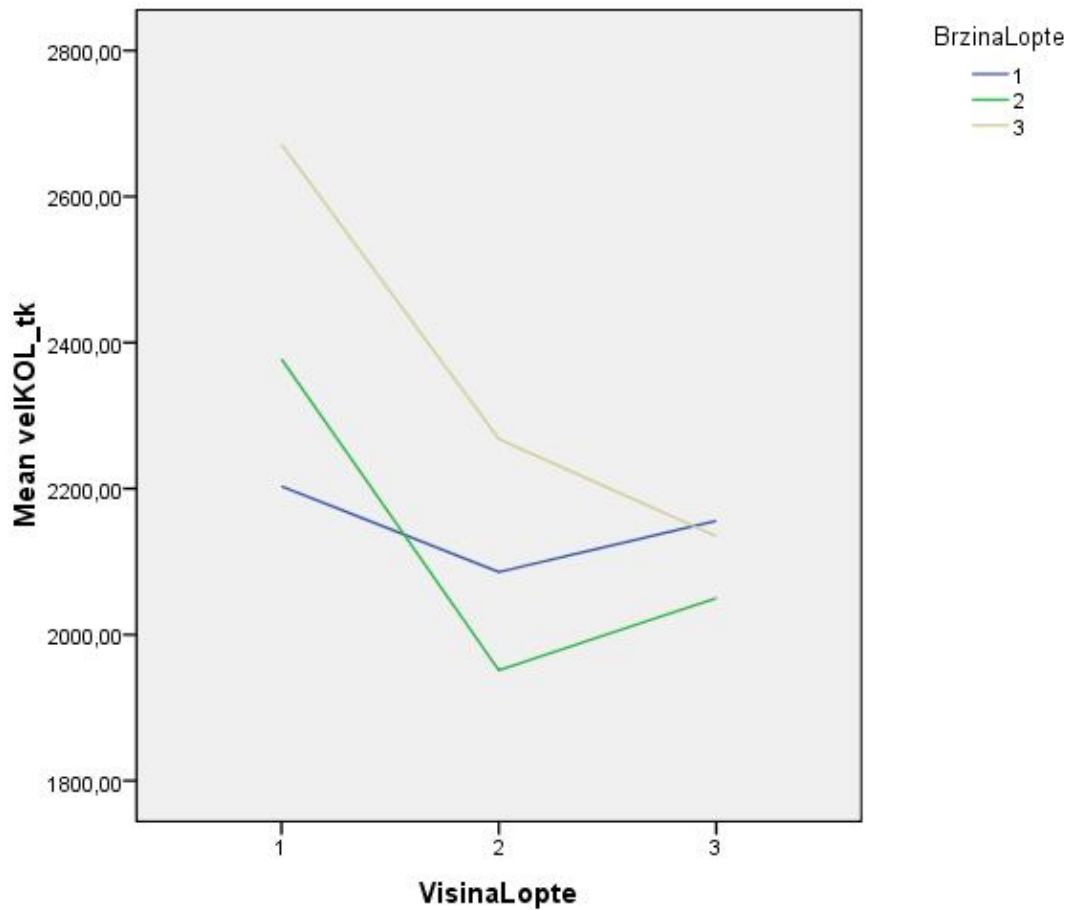
Tabela 19.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	336,7167*	139,36450	,017	60,7126	612,7208
	3 Visoka	281,8132	147,39762	,058	-10,1000	573,7265
2 Srednja	1 Niska	-336,7167*	139,36450	,017	-612,7208	-60,7126
	3 Visoka	-54,9035	132,89428	,680	-318,0936	208,2867
3 Visoka	1 Niska	-281,8132	147,39762	,058	-573,7265	10,1000
	2 Srednja	54,9035	132,89428	,680	-208,2867	318,0936

Nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,355$) i visine ($p=0,065$) lopte na varijabilitet *brzine centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (velKOL_tk)* (Tabela 19.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 19.3) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niske i srednje lopte ($p=0,017$). Nije primećena statistički značajna razlika između niske i visoke, srednje i visoke lopte ($p=0,058$, $p=0,680$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable opada (Grafik 19).



velKOL_tk (metar/sekund *m/s*)

Grafik 19: Promene prosečnih vrednosti varijable **brzina centra zgloba kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom (*velKOL_tk*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Postavka tela i ubrzavanje celog sistema, sa ciljem da se u dovoljnoj meri ubrza i centar zgloba kolena, najveću slobodu ima (mehaničke uslove) pri izvođenju niskih lopti, jer pozicija zgloba kolena može biti vodilja pri niskim loptama, nezavisno od brzine. Deo narednog istraživanja ići će u tom smeru.

Vremenski period protekao od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom (t_velKOL_max_tk)

Ova varijabla je izdvojena sa ciljem da se utvrdi da li postoji varijabilnost pokreta između maksimalne brzine centra zgloba kuka i trenutka kontakta stopala sa loptom. Ona opisuje vremenski interval (šemu izvođenja pokreta), u odnosu na dolazeću brzinu i visinu lopte.

Tabela 20.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	21,33	2,995	12
	2 Srednja	20,67	3,029	18
	3 Visoka	22,71	2,225	28
2 Umerena	1 Niska	20,25	,886	8
	2 Srednja	22,90	2,732	20
	3 Visoka	21,00	,894	6
3 Brza	1 Niska	20,83	3,157	12
	2 Srednja	22,00	3,038	14
	3 Visoka	22,00	3,464	4

Tabela 20.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

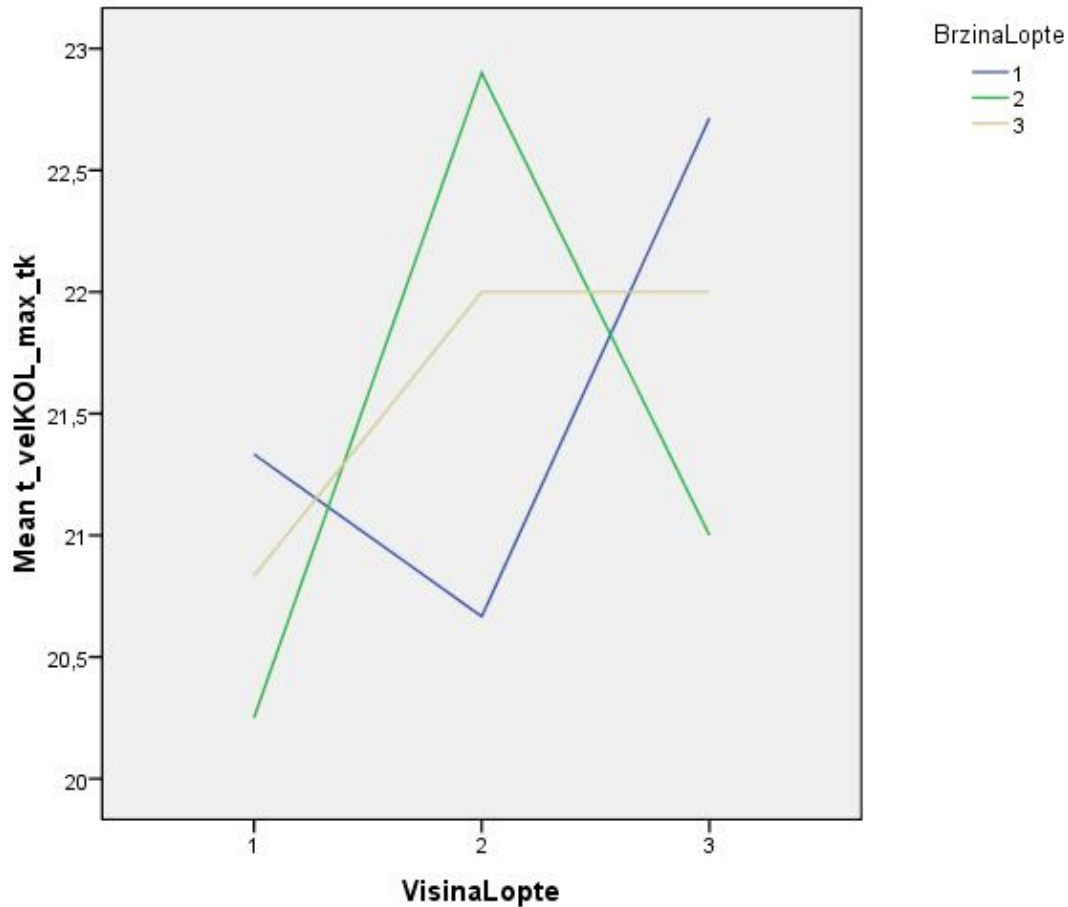
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	,801	2	,401	,056	,945	,001
VisinaLopte	24,351	2	12,176	1,708	,186	,029
BrzinaLopte * VisinaLopte	65,828	4	16,457	2,309	,062	,076

Tabela 20.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	-1,01	,600	,095	-2,20	,18
	3 Visoka	-1,49	,641	,021	-2,76	-,22
2 Srednja	1 Niska	1,01	,600	,095	-,18	2,20
	3 Visoka	-,48	,570	,398	-1,61	,64
3 Visoka	1 Niska	1,49	,641	,021	,22	2,76
	2 Srednja	,48	,570	,398	-,64	1,61

Primećeno je da ne postoji statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,945$) i visine ($p=0,186$) lopte na varijabilitet **vremenskog perioda proteklog od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom ($t_{velKOL_max_tk}$)** (Tabela 20.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 20.3) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niske i visoke lopte ($p=0,021$). Nije primećena statistički značajna razlika između niske i srednje, srednje i visoke lopte ($p=0,095$, $p=0,398$). Primećeno je da se, sa povećanjem visine lopte, vrednosti varijable za umerene i brze lopte, povećava pa opada, a za spore lopte opada pa povećava (Grafik 20).



$t_{velKOL_max_tk}$ (u sekundama s)

Grafik 20: Promene prosečnih vrednosti varijable **vremenski period protekao od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom ($t_{velKOL_max_tk}$)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Nepostojanje razlika u usporavajućoj fazi kolena, nezavisno od toga koja kombinacija brzine i visine lopte je u pitanju, navodi na zaključak da je i za ovakve jednokratne pokrete potreban tzv. tajming. Dobijeni rezultati ukazuju da je usporenje nezavisno od uslova, kada je već započeo pokret. To ide u prilog već započetoj programskoj šemi u zglobu kuka, koja se više ne može bitno menjati. Dodatni razlog tome jeste sistematski slična razlika u brzini pomeranja centra zgloba kuka (8 do 9 x 4 milisekunda). Ovo govori o relativno stabilnoj programskoj šemi, dok je trajanje (od 30 do 40 milisekundi) veoma malo za korekciju, sa nivoa zgloba kuka na nivo zgloba kolena.

**Maksimalno ostvareno ubrzanje centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca
(accKUK_max)**

Ova varijabla pripada jednoj šemi pokreta, i ne može se posmatrati izolovanom. Potrebna je da bi se utvrdilo delovanje zakonitosti odnosa inteziteta i ubrzanja. Ona opisuje promene vrednosti maksimalno ostvarenog ubrzanja centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca u zavisnosti od brzine i visine dolazeće lopte.

Tabela 21.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	34905,86	15635,862	10
	2 Srednja	31328,60	8029,904	18
	3 Visoka	30710,67	10817,607	30
2 Umerena	1 Niska	45001,03	14289,228	10
	2 Srednja	40137,98	14702,842	20
	3 Visoka	31204,97	1260,615	6
3 Brza	1 Niska	43932,82	13269,444	12
	2 Srednja	39328,34	13676,079	14
	3 Visoka	24931,60	2843,092	4

Tabela 21.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	7,749E8	2	3,875E8	2,616	,077	,044
VisinaLopte	1,870E9	2	9,352E8	6,313	,003	,099
BrzinaLopte * VisinaLopte	7,093E8	4	1,773E8	1,197	,316	,040

Tabela 21.3

(Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-8374,24*	2582,423	,002	-13489,53	-3258,96
	3 Brza	-7624,82*	2737,130	,006	-13046,54	-2203,09
2 Umerena	1 Spora	8374,24*	2582,423	,002	3258,96	13489,53
	3 Brza	749,43	3008,769	,804	-5210,36	6709,22
3 Brza	1 Spora	7624,82*	2737,130	,006	2203,09	13046,54
	2 Umerena	-749,43	3008,769	,804	-6709,22	5210,36

Tabela 21.4

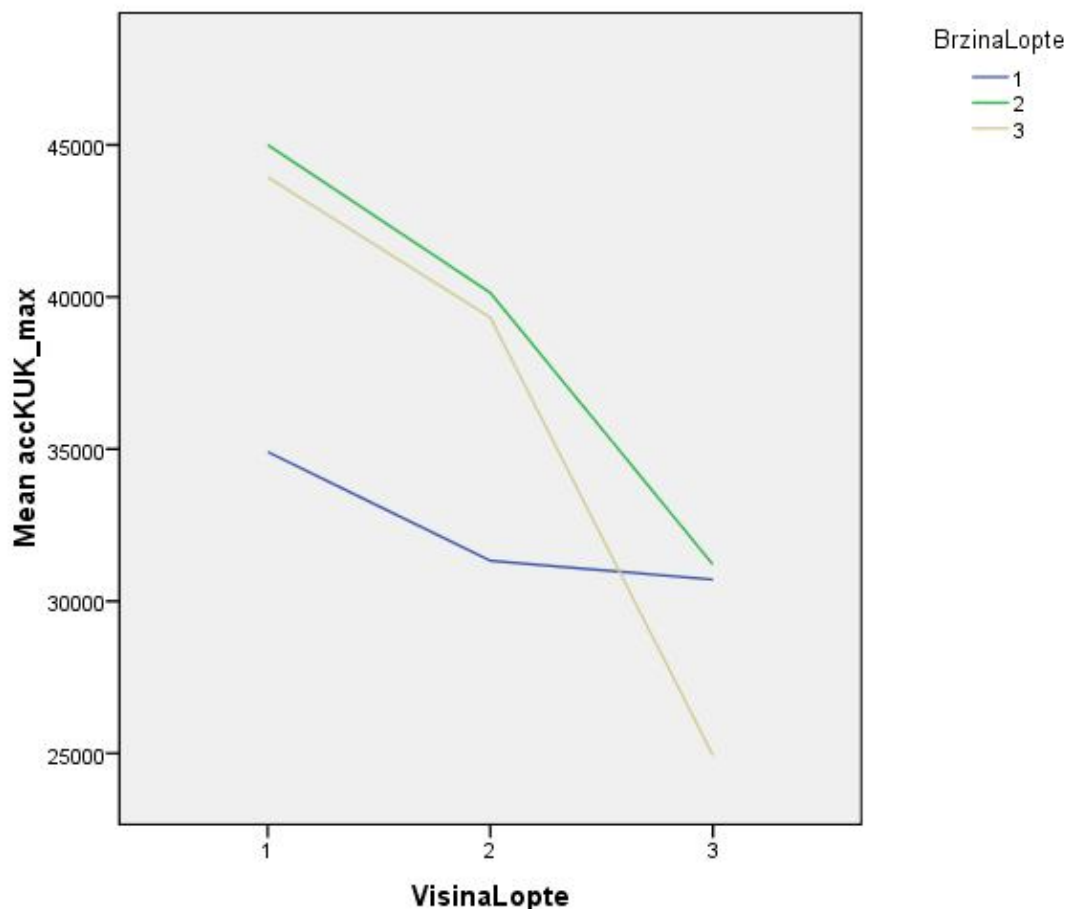
Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	4575,11	2734,587	,097	-841,58	9991,80
	3 Visoka	11238,81*	2886,622	,000	5520,96	16956,65
2 Srednja	1 Niska	-4575,11	2734,587	,097	-9991,80	841,58
	3 Visoka	6663,69*	2559,711	,010	1593,40	11733,99
3 Visoka	1 Niska	-11238,81*	2886,622	,000	-16956,65	-5520,96
	2 Srednja	-6663,69*	2559,711	,010	-11733,99	-1593,40

Primećen je statistički značajan uticaj faktora visine lopte ($p=0,003$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,077$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarenog ubrzanja centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (accKUK_max)* (Tabela 21.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 21.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,002$), i sporih i brzih lopti ($p=0,006$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,804$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 21.4) ukazuju da, kod faktora visine lopte,

postoji statistički značajna razlika između niskih i visokih ($p=0,000$), i srednjih i visokih ($p=0,010$). Nije primećena statistički značajna razlika između srednjih i niskih lopti ($p=0,097$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte vrednost varijable opada za sve brzine lopte (Grafik 21).



accKUK_max (metar/sekund za sekund m/s^2)

Grafik 21: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvareno ubrzanje centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca (*accKUK_max*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Promene u ubrzanju prate podjednako slične promene u maksimalnoj brzini, što govori o relativno stabilnom odnosu između maksimalne brzine i vremena proteklog tj. potrebnog da se isto ostvari (prirast u brzini je bio sličan). Razlozi su podjednako slični, sa povećanjem visine lopte, povećava se potreba za stabilnošću tela, što dodatno onemogućava da se intenzitet ubrzanja može za kratko vreme akumulirati.

Ubrzanje stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (acc_STO_tk)

Ova varijabla je izdvojena kako bi se ispitali odnosi delova kinetičkog lanca jedne šeme pokreta, kao i to da li su ispoštovane zakonitosti i odnosi inteziteta ubrzanja. Opisuje vrednosti promena ubrzanja stopala u trenutku kontakta sa loptom, u zavisnosti od brzine i visine lopte.

Tabela 22.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	206932,69	89980,397	10
	2 Srednja	186605,50	,000	2
	3 Visoka	184407,02	73536,910	18
2 Umerena	1 Niska	213066,93	46124,572	8
	2 Srednja	241637,17	50090,584	16
	3 Visoka	282898,20	30280,775	4
3 Brza	1 Niska	282014,76	47122,713	10
	2 Srednja	236387,69	63965,140	14
	3 Visoka	219279,56	,000	2

Tabela 22.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	2,770E10	2	1,385E10	3,543	,034	,086
VisinaLopte	1,465E9	2	7,324E8	,187	,830	,005
BrzinaLopte * VisinaLopte	2,764E10	4	6,911E9	1,768	,144	,086

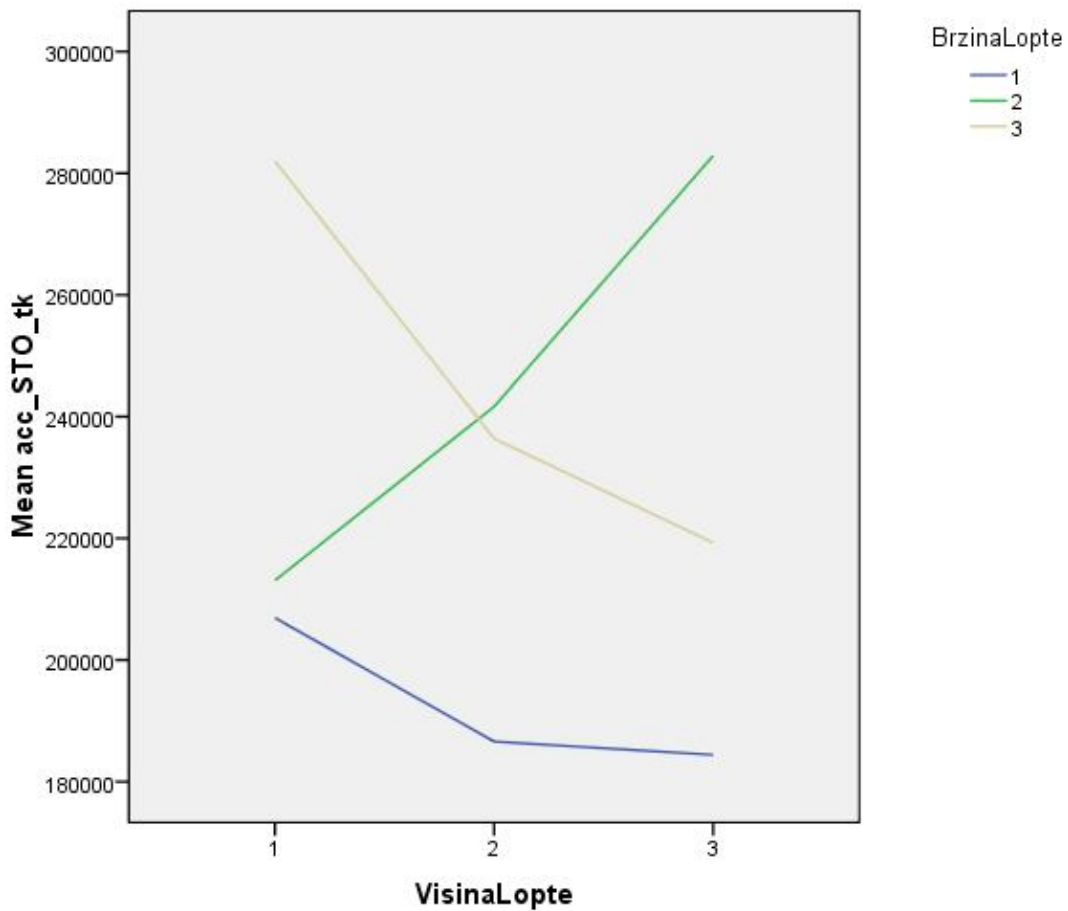
Tabela 22.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-47306,53*	16431,031	,005	-80038,83	-14574,24
	3 Brza	-60558,41*	16754,720	,001	-93935,53	-27181,30
2 Umerena	1 Spora	47306,53*	16431,031	,005	14574,24	80038,83
	3 Brza	-13251,88	17030,275	,439	-47177,93	20674,17
3 Brza	1 Spora	60558,41*	16754,720	,001	27181,30	93935,53
	2 Umerena	13251,88	17030,275	,439	-20674,17	47177,93

Primećen je statistički značajan uticaj brzine lopte ($p=0,034$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,830$) lopte na varijabilitet *ubrzanja stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (acc_STO_tk)* (Tabela 22.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 22.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,005$), i sporih i brzih lopti ($p=0,001$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,439$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable opada za spore i brze lopte, dok se za umereno brze povećava (Grafik 22).



acc_STO_tk (metar/sekund za sekund m/s^2)

Grafik 22: Promene prosečnih vrednosti varijable **ubrzanje stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (acc_STO_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Odnos 1:3:7 govori da nije bilo artefakta u snimanju. Nije bilo pogreški. Sistematski pokreti su bili ispravni tj. regularni. Za brže lopte potrebno je veće ubrzanje u neposrednom kontaktu stopala i lopte, kako bi kraj kinetičkog lanca dovoljno brzo i usmereno odredio pravac lopte.

**Maksimalno ostvareno ubrzanje stopala pri izvođenju bočnog volej udarca
(acc_STO_max)**

Varijabla takođe pripada jednoj šemi pokreta, i to su pokreti necikličnog karaktera. Potrebna je da bi se utvrdilo kako sposobnosti ubrzanja, prethodno uključenih segmenata, utiču na ovu varijablu kao takvu (kraj kinetičkog lanca). Opisuje promene vrednosti maksimalno ostvarenog ubrzanja stopala, pri izvođenju bočnog volej udarca, u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 23.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	236715,12	90236,858	8
	2 Srednja	287024,37	,000	2
	3 Visoka	230929,39	55193,918	14
2 Umerena	1 Niska	297575,37	36919,469	8
	2 Srednja	283193,87	51170,345	16
	3 Visoka	287327,10	25166,721	4
3 Brza	1 Niska	299209,57	53049,081	12
	2 Srednja	285735,55	40211,736	14
	3 Visoka	391350,31	,000	2

Tabela 23.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

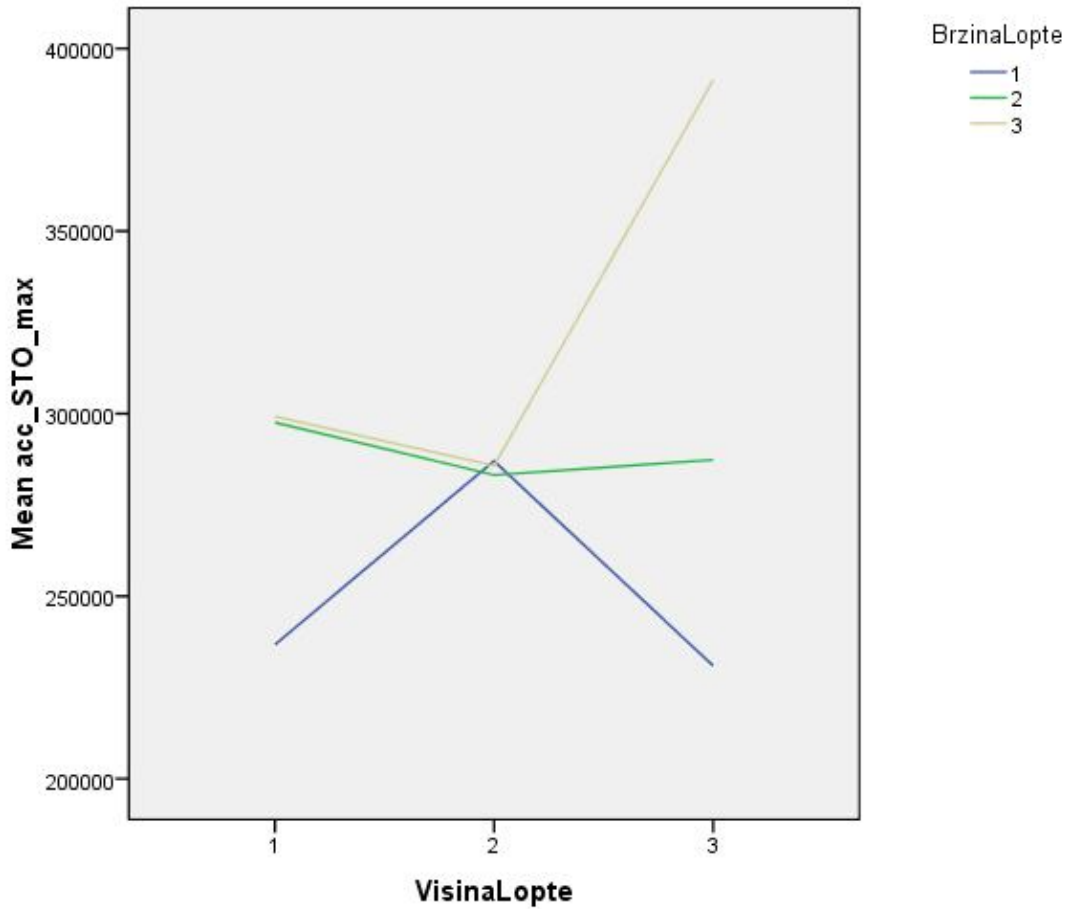
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	3,635E10	2	1,818E10	6,475	,003	,154
VisinaLopte	5,016E9	2	2,508E9	,894	,414	,025
BrzinaLopte * VisinaLopte	2,426E10	4	6,065E9	2,161	,082	,109

Tabela 23.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte). Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-50360,79*	14737,958	,001	-79747,44	-20974,13
	3 Brza	-61521,49*	14737,958	,000	-90908,15	-32134,84
2 Umerena	1 Spora	50360,79*	14737,958	,001	20974,13	79747,44
	3 Brza	-11160,71	14159,772	,433	-39394,49	17073,08
3 Brza	1 Spora	61521,49*	14737,958	,000	32134,84	90908,15
	2 Umerena	11160,71	14159,772	,433	-17073,08	39394,49

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine lopte ($p=0,003$), a nije primećen statistički značajan uticaj faktora visine ($p=0,414$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarenog ubrzanja stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (acc_STO_max)* (Tabela 23.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 23.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,001$), i sporih i brzih lopti ($p=0,000$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,433$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable opada za spore i umerene lopte, a povećava se za brze lopte (Grafik 23).



acc_STO_max (metar/sekund za sekund m/s^2)

Grafik 23: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvareno ubrzanje stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (acc_STO_max)** za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

U proseku, sa povećanjem brzine lopte, povećava se maskimalno ubrzanje. Fudbaler mora da poveća maksimalno ostvareno ubrzanje, zarad stabilnosti sistema u neposrednom kontaktu sa loptom.

Brzina stopala u trenutku kontakta sa loptom (vel_STOP_tk)

Ova varijabla je potrebna zato što uspešnost ovakvog tipa motornog zadatka zavisi od pravovremenog tajminga, kao i da bi se utvrdilo da li postoje razlike u odnosu na maksimalno ostvarenu brzinu stopala. Varijabla opisuje promene vrednosti brzine stopala u trenutku kontakta sa loptom, u odnosu na brzinu i visinu lopte.

Tabela 24.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	11693,6950	2217,04750	12
	2 Srednja	10453,1500	,00000	2
	3 Visoka	9678,2000	1403,33571	18
2 Umerena	1 Niska	12543,5920	1207,38682	10
	2 Srednja	11299,2250	809,83601	16
	3 Visoka	11863,9500	,00000	2
3 Brza	1 Niska	12701,6800	795,88269	10
	2 Srednja	11976,4257	1126,33501	14

Tabela 24.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	1,502E7	2	7509584,565	4,301	,017	,102
VisinaLopte	1,761E7	2	8803172,350	5,042	,009	,117
BrzinaLopte * VisinaLopte	3945920,563	3	1315306,854	,753	,524	,029

Tabela 24.3

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).
Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

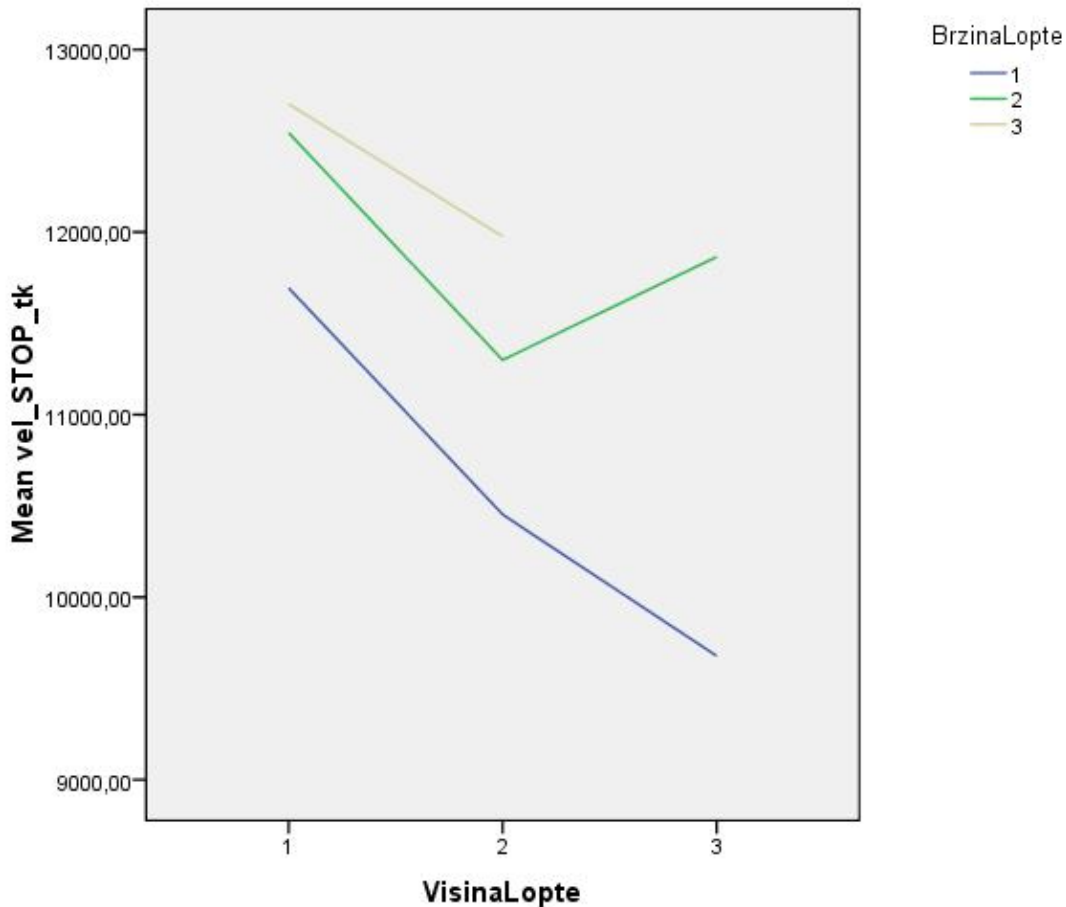
(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-1301,5343*	341,93758	,000	-1982,5620	-620,5066
	3 Brza	-1796,1700*	356,81131	,000	-2506,8213	-1085,5187
2 Umerena	1 Spora	1301,5343*	341,93758	,000	620,5066	1982,5620
	3 Brza	-494,6357	367,57185	,182	-1226,7185	237,4471
3 Brza	1 Spora	1796,1700*	356,81131	,000	1085,5187	2506,8213
	2 Umerena	494,6357	367,57185	,182	-237,4471	1226,7185

Tabela 24.4

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).
Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	731,6625*	330,34308	,030	73,7272	1389,5978
	3 Visoka	2377,5081*	376,64906	,000	1627,3465	3127,6697
2 Srednja	1 Niska	-731,6625*	330,34308	,030	-1389,5978	-73,7272
	3 Visoka	1645,8456*	376,64906	,000	895,6840	2396,0072
3 Visoka	1 Niska	-2377,5081*	376,64906	,000	-3127,6697	-1627,3465
	2 Srednja	-1645,8456*	376,64906	,000	-2396,0072	-895,6840

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,017$) i visine ($p=0,009$) lopte na varijabilitet *brzine stopala u trenutku kontakta sa loptom (vel_STOP_tk)* (Tabela 24.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 24.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između sporih i umerenih ($p=0,000$), i sporih i brzih lopti ($p=0,000$). Nije primećena statistički značajna razlika između umerenih i brzih lopti ($p=0,182$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 24.4) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između svih modaliteta ($p=0,030$, $p=0,000$, $p=0,000$). Primećeno je da, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable opada, osim za umerene lopte koje se od srednjih visina povećavaju (Grafik 24).



vel_STOP_tk (metar/sekund *m/s*)

Grafik 24: Promene prosečnih vrednosti varijable **brzina stopala u trenutku kontakta stopala sa loptom (vel_STOP_tk)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

Pri najnižim visinama lopte i najvećim brzinama, postižu se najveće vrednosti brzine stopala. U tim uslovima, sistem ima najveći stepen slobode u mehaničkom smislu tj. najveću amplitudu pokreta, zahvaljujući izrazito maloj potrebi za održavanje stabilnosti tela u uslovima visokih lopti.

Maksimalno ostvarena brzina stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (vel_STOP_max)

Ova varijabla je izdvojena kako bi se utvrdilo da li maksimalna brzina može predstavljati jedan od kriterijuma uspešnosti izvođenja ovog motornog zadatka. Ona opisuje promene vrednosti maksimalno ostvarene brzine stopala pri izvođenju volej udarca, u zavisnosti od brzine i visine lopte.

Tabela 25.1

Deskriptivni pokazatelji.

Srednja vrednost (Mean), standardno odstupanje (Std. Deviation) i broj pokušaja (N).

BrzinaLopte	VisinaLopte	Mean	Std. Deviation	N
1 Spora	1 Niska	12332,56	1998,080	12
	2 Srednja	10776,13	,000	2
	3 Visoka	10470,67	1397,984	18
2 Umerena	1 Niska	12986,27	1046,342	10
	2 Srednja	12311,23	959,082	16
	3 Visoka	12507,49	,000	2
3 Brza	1 Niska	13344,98	915,523	10
	2 Srednja	12767,95	1293,464	14
	3 Visoka	16700,41	,000	2

Tabela 25.2

Dvofaktorska analiza varijanse.

Broj stepeni slobode (df), značajnost uticaja faktora (Sig.) i veličina uticaja (Partial Eta Squared).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
BrzinaLopte	6,515E7	2	3,258E7	19,282	,000	,334
VisinaLopte	1,143E7	2	5715195,022	3,383	,039	,081
BrzinaLopte * VisinaLopte	3,805E7	4	9511821,054	5,630	,000	,226

Tabela 25.3*Post hoc* (LSD) analiza u okviru faktora Brzina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Brzina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) BrzinaLopte	(J) BrzinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Spora	2 Umerena	-1378,37 [*]	336,348	,000	-2048,12	-708,61
	3 Brza	-2104,41 [*]	343,178	,000	-2787,77	-1421,06
2 Umerena	1 Spora	1378,37 [*]	336,348	,000	708,61	2048,12
	3 Brza	-726,05 [*]	353,996	,044	-1430,94	-21,15
3 Brza	1 Spora	2104,41 [*]	343,178	,000	1421,06	2787,77
	2 Umerena	726,05 [*]	353,996	,044	21,15	1430,94

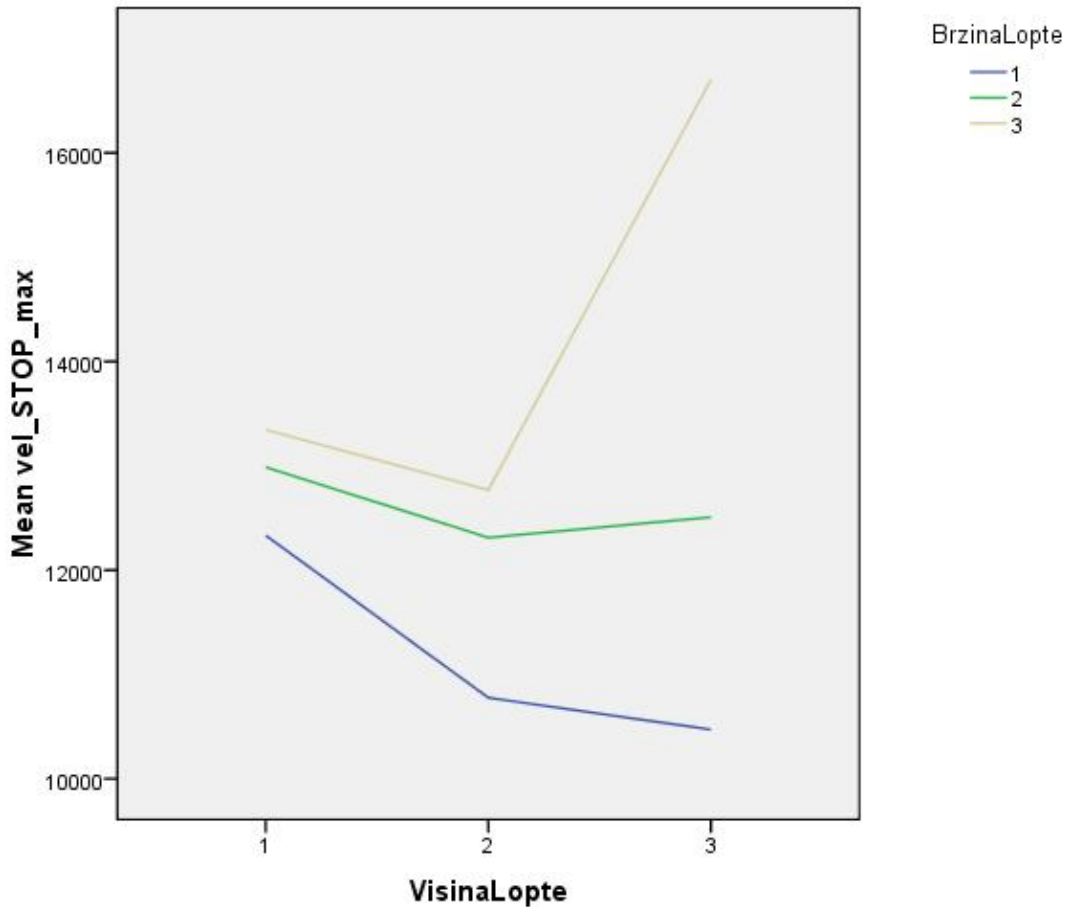
Tabela 25.4

Post hoc (LSD) analiza u okviru faktora Visina lopte (poređenje različitih modeliteta unutar faktora Visina lopte).

Prosečna razlika (Mean Difference (I-J)), standardna greška (Std. Error), značajnost razlika (Sig.) i interval pouzdanosti (Confidence Interval).

(I) VisinaLopte	(J) VisinaLopte	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 Niska	2 Srednja	438,12	324,943	,182	-208,92	1085,17
	3 Visoka	1631,05*	359,979	,000	914,24	2347,86
2 Srednja	1 Niska	-438,12	324,943	,182	-1085,17	208,92
	3 Visoka	1192,93*	359,979	,001	476,12	1909,74
3 Visoka	1 Niska	-1631,05*	359,979	,000	-2347,86	-914,24
	2 Srednja	-1192,93*	359,979	,001	-1909,74	-476,12

Primećen je statistički značajan uticaj faktora brzine ($p=0,000$) i visine ($p=0,039$) lopte na varijabilitet *maksimalno ostvarene brzine stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (vel_STOP_max)* (Tabela 25.2). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 25.3) ukazuju da, kod faktora brzine lopte, postoji statistički značajna razlika između svih različitih modaliteta ($p=0,000$, $p=0,000$, $p=0,044$). Rezultati Post – hoc analize (Tabela 25.4) ukazuju da, kod faktora visine lopte, postoji statistički značajna razlika između niske i visoke ($p=0,000$), i srednje i visoke lopte ($p=0,001$). Nije primećena statistički značajna razlika između niske i srednje lopte ($p=0,182$). Primećeno je da se, sa povećanjem visine lopte, vrednost varijable smanjuje do srednjih visina. Za brze i umerene lopte vrednost varijable se povećava od srednjih ka najvećim visinama lopte (Grafik 25).



vel_STOP_max (metar/sekund *m/s*)

Grafik 25: Promene prosečnih vrednosti varijable **maksimalno ostvarena brzina stopala pri izvođenju bočnog volej udarca (*vel_STOP_max*)**, za tri različite visine lopte (1 – niska, 2 – srednja i 3 – visoka lopta) i tri različite brzine lopte (1 – spora, 2 – umerena i 3 – brza lopta).

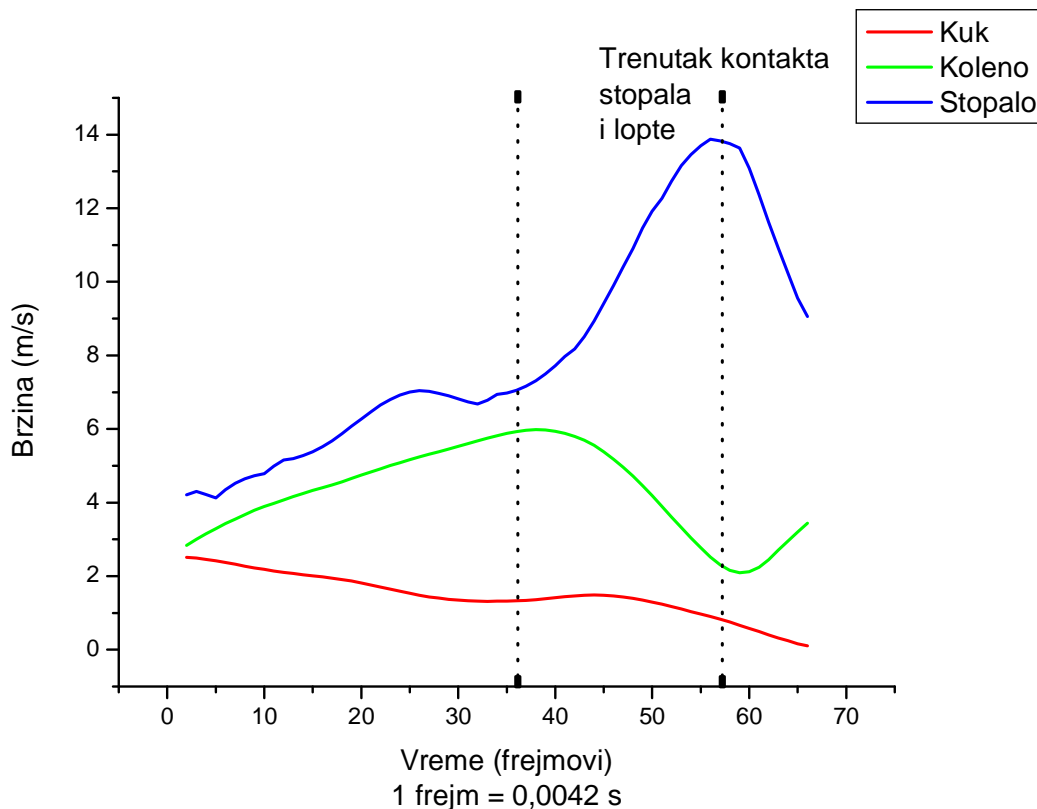
Primećeno je da se ova varijabla, kada su u pitanju različite brzine lopte, najviše razlikuje pri dolasku najviših lopti. Kod niskih i srednjih lopti primećene su značajne razlike kod različitih brzina lopti. Primećeno je da, kod sporih i umerenih lopti, sa povećanjem visine lopte, opada vrednost maksimalne brzine stopala. Kod brzih lopti je primećeno, da se, sa povećanjem visine lopte, brzina prvo smanjuje (kod umereno brzih), pa se onda brzina značajno povećava kod brzih lopti.

8.2. Kinematika bočnog volej udarca

Udarci u fudbalu predstavljaju serije rotacionih pokreta gde je najvažnije obezbediti adekvatne ugaone brzine i brzine najproksimalnijih delova kinetičkog lanca, kao i adekvatne trajektorije i brzine krajeva kinetičkog lanca (stopala) kojim će se izvesti udarac (Luhtanen). Tokom izvođenja udaraca u fudbalu, sa kriterijumom da se ostvari visoka preciznost udarca, pokret se realizuje serijom sukcesivno-simultanih šema kretnji kinetičkog lanca, kojima je primarni cilj da ostvare veliku brzinu, kao i adekvatnu trajektoriju kraja kinetičkog lanca. Faza zamaha udarne noge započinje odvajanjem iste od podloge. Tokom faze zamaha pri bočnom volej udarcu, noga kojom će biti izveden udarac, započinje udarac sa početnom ekstenzijom u zglobu kuka od približno 160° u trenutku odvajanja stopala od podloge. Za razliku od instep udarca, kod bočnog volej udarca, nakon odvajanja stopala od podloge nogom kojom se izvodi udarac, nema kretanja natkolenice unazad, već se u zglobu kuka sve vreme realizuje pokret u smeru fleksije. U trenutku odvajanja stopala noge kojom se izvodi udarac, zglob kuka je u položaju blage adukcije i spoljašnje rotacije (Levanon i Dapena, 1998). Kod bočnog volej udarca, koleno je u položaju fleksije i spoljašnje rotacije, nasuprot instep udarcu gde je zglob kolena u položaju fleksije i unutrašnje rotacije. Položaj zgloba stopala, kojim će biti izveden udarac, jeste plantarna fleksija, abdukcija i blaga supinacija (Nunome i sar., 2002). Tokom faze zamaha, ugaona brzina u zglobu kuka ima negativan predznak, s obzirom da se pokret realizuje u smeru fleksije, gde su vrednosti ugaone brzine skoro minimalne. Ugaone brzine u zglobu kolena, na početku faze zamaha, imaju negativan predznak, s obzirom da se na početku faze zamaha pokret u zglobu kolena realizuje u smeru fleksije. Kretanje noge kojom će biti izveden udarac unapred, inicira se brzom rotacijom karlice oko stajne noge i pomeranjem unapred natkolenice udarne noge. Na račun brze rotacije oko uzdužne ose trupa, na početku faze zamaha, može se uočiti najveća brzina centra zgloba kuka, koja tokom dalje faze zamaha sve vreme opada. Ovaj pokret se koristi kako bi se kroz pomeranje kuka unapred istegli fleksori u zglobu kuka, pre nego što započnu da se skraćuju, da bi se iskoristile prednosti povratnih režima mišićnog rada (*stretch-shortening cycle*), koje omogućavaju generisanje veće brzine pokreta u kasnijim fazama izvođenja udarca. U kasnijim fazama zamaha zglob kuka prelazi u položaj fleksije i abdukcije, dok se zadržava položaj spoljašnje rotacije. Ugaona brzina u zglobu kuka, za sve vreme kretanja

udarne noge, prilikom izvođenja bočnog volej udarca je negativna. Kretanje udarne noge unapred nastavlja se tako što se i potkolenica i natkolenica kreću unapred na račun pomeranja celog sistema (rotacije oko uzdužne ose trupa i pomeranja celog tela unapred) i pokret fleksije u zglobu kuka. Ugaona brzina u zglobu kuka nastavlja da se povećava i dostiže najveću vrednost neposredno pre nego što krene pokret ekstenzije u zglobu kolena. U tom trenutku, ugaona brzina u zglobu kuka približna je ugaonoj brzini u zglobu kolena. U trenutku kada zglob kolena započinje ekstenziju, ugaona brzina u zglobu kuka opada, dok se ugaona brzina u zglobu kolena eksponencijalno povećava sve do udarca po lopti (Kellis, 2007 prema Dorge i sar., 1999). U trenutku kontakta stopala sa loptom, ugaona brzina u zglobu kuka dostiže skoro nultu vrednost, dok ugaona brzina u zglobu kolena i brzina stopala dostižu maksimalne vrednosti i imaju nultu ubrzanje. U trenutku udarca, zglob kuka je u fleksiji, abdukciji i spoljašnjoj rotaciji, a skočni zglob u plantarnoj fleksiji, abdukciji i supinaciji (Levanon i Dapena, 1998).

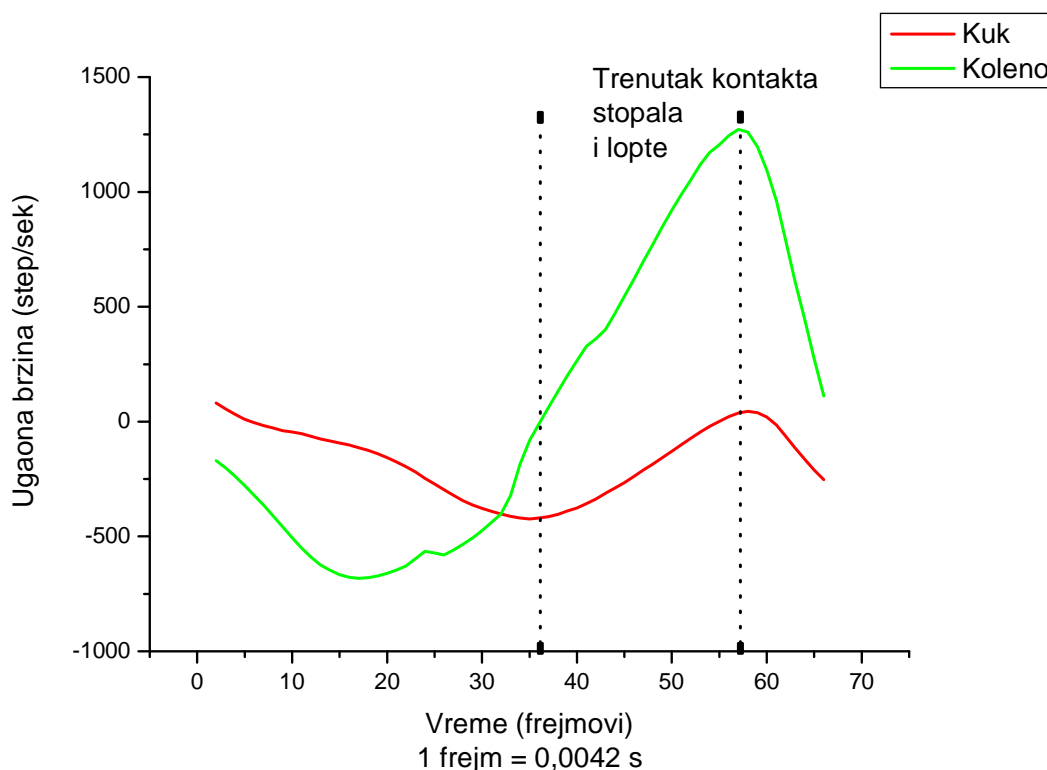
Na osnovu prethodno opisanih kinematičkih karakteristika bočnog volej udarca, ovaj tehnički element se može podeliti u nekoliko najosnovnijih faza: 1) Rotacija natkolenice i potkolenice unapred, koja je rezultat rotacije u zglobu kuka u smeru fleksije, 2) Dostizanje maksimalne vrednosti ugaone brzine u zglobu kuka i početak rotacije u zglobu kolena u smeru ekstenzije, gde se ugaona brzina u zglobu kolena eksponencijalno povećava sve do trenutka sudara sa loptom i 3) Kretanje tela posle sudara sa loptom.



Grafik 26: Brzina pete, zgloba kolena i zgloba kuka

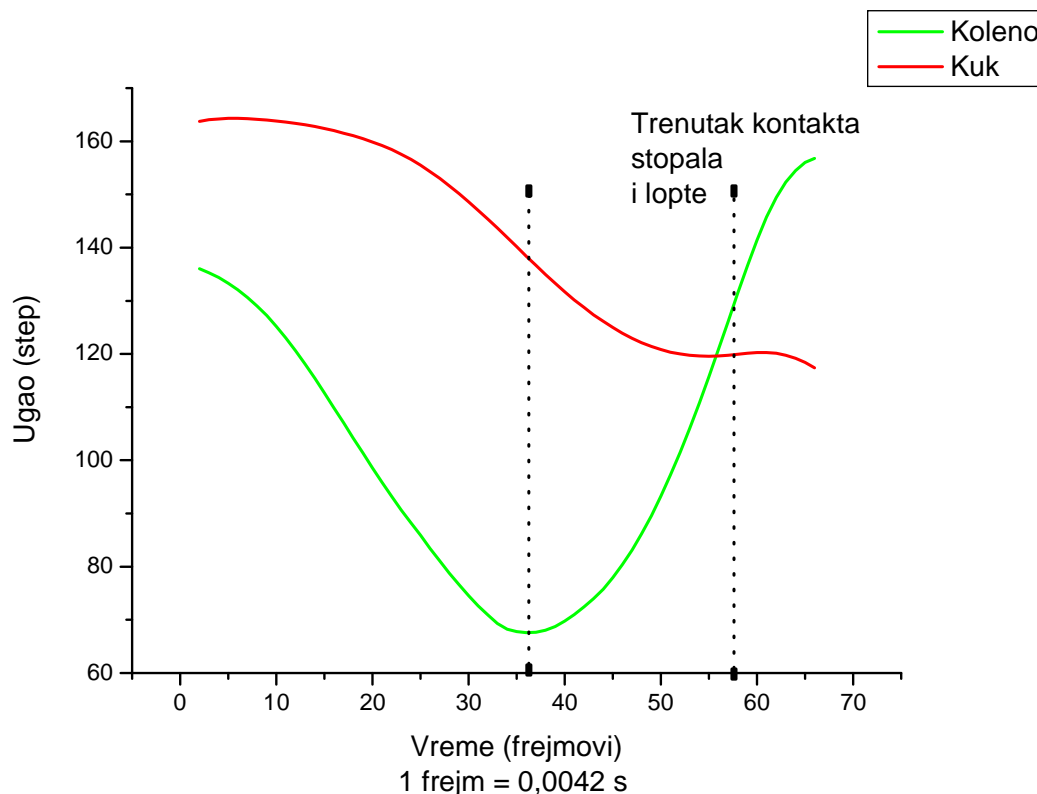
Na grafiku 26 prikazane su brzine stopala, kolena i kuka noge koja izvodi bočni volej udarac u fudbalu. Na grafikonu se uočava da brzina stopala i centra zgloba kolena noge kojom se izvodi udarac konstantno raste u fazi pripreme, dok je brzina centra zgloba kuka u opadanju. Shodno tome, mišići zadnje lože buta su u početku pripremljeni da blokiraju zglob kolena, koji iz faze ubrzanja mora da pređe u fazu usporenja, i sve vreme su aktivni. Ta aktivnost koja se pojačava, u kontinuitetu obezbeđuje male negativne promene u zglobu kuka. Sa usporenjem iz zgloba kolena, zakon održanja količine kretanja se u velikoj meri reflektuje na sve brže pomeranje potkolenice i stopala, do potpunog opružanja, što se uočava na grafikonu. Neposredno pre kontakta stopala i lopte, brzina stopala nastavlja da raste, brzina u zglobu kolena počinje da opada, dok je brzina u zglobu kuka u konstantnom opadanju. U trenutku sudara stopala i lopte, vrednosti brzine stopala dostižu svoj maksimum, za razliku od vrednosti brzina u zglobu kolena koje dostižu svoj minimum, dok je brzina u zglobu kuka u konstantnom padu. Zapažamo i da se maksimalna brzina centra zgloba kolena

realizuje u približno istom trenutku, kao i početak pokreta ekstenzije u zglobu kolena (tj. početak druge faze izvođenja udarca).



Grafik 27: Ugaone brzine u zglobu kolena i zglobu kuka

Na grafiku 27 prikazane su vrednosti ugaonih brzina u zglobu kolena i zglobu kuka noge koja izvodi bočni volej udarac u fudbalu. Ugaone brzine su u početku negativne, zato što sistem u početnoj fazi kreće ka nazad, da bi kasnije krenuo ka napred. Promena smera se desila znatno ranije zbog ekstenzije u zglobu kolena. U zglobu kuka, ligamentozni aparat vraća segment u smeru opružanja malom brzinom. Javlja se efekat prirodne stabilnosti i mogućnosti da koleno može jako da ubrzava prema napred. Ovim se stvaraju uslovi da se brzina kolena ekstremno uvećava na račun fleksora u zglobu kuka i ekstenzora u zglobu kolena, koji mišićno imaju najveći potencijal (suma mišićnih sila). U poslednjoj fazi pokreta, pre kontakta sa podlogom, ekstenzija u zglobu kolena rapidno raste. Pre samog kontakta uočava se linearni porast u ugaonom ubrzanju u zglobu kuka, sa izrazito blagim nagibom, što daje dodatnu stabilnost celoj šemi pokreta.



Grafik 28: Ugao u zglobu kuka i zglobu kolena

Na grafiku 28 prikazane su promene ugla u zglobu kolena i zglobu kuka noge kojom se izvodi bočni volej udarac u fudbalu. U toku pripremljene faze zamaha, uglovne vrednosti u zglobu kuka su približno 160° , i u toku faze zamaha opadaju do vrednosti od približno 120° neposredno pre sudara stopala sa loptom. Uglovne vrednosti u zglobu kuka su relativno nepromenjene neposredno pre i u trenutku kontakta stopala i lopte, što ukazuje na „zamrznutu“ i mirnu poziciju zgloba kuka u završnoj fazi izvođenja bočnog volej udarca. Prva „zamrznuta“ pozicija javlja se zbog daljeg razvoja veoma brze promene ugla u zglobu kolena. Smanjenjem ugla u zglobu kolena, sistem je mogao da se, relativno brzo, pomeri napred zato što je najbliži centru mase, i što je flektirana noga u zglobu kolena, kao i to što je moment inercije relativno mali. Usled velike mase segmenata, zaključno sa zglobom u kom rotira, linearno se smanjuje ugao u zglobu kuka. U jednom trenutku centar zgloba kuka se zaustavlja i prema teoriji sprega sila, sistem kreće ka napred. Ugaone vrednosti u zglobu kolena su u trenutku pripremljene faze zamaha približno 140° , što je i maksimalna vrednost ugla u zglobu kolena tokom izvođenja faze zamaha. Minimalna vrednost u zglobu kolena

tokom faze pripreme približno je 70^0 , što predstavlja i trenutak kada započinje ekstenzija u zglobu kolena tj. druga faza izvođenja bočnog volej udarca. U trenutku kontakta stopala i lopte, koleno je u poziciji polufleksije (približno 130^0), da bi vrednosti ugla u zglobu kolena, nakon kontakta stopala i lopte, dostigle svoj maksimum.

Tokom faze 1, i natkolenica i potkolenica povećavaju svoju ugaonu brzinu, nagoveštavajući da energija za ovu fazu dolazi od mišića koji se nalaze oko bedra i natkolenice. U fazi 2, neposredno pre udarca, povećava se ugaona brzina u zglobu kolena, a smanjuje ugaona brzina u zglobu kuka. Dešava se razmena energije između segmenata natkolenice i potkolenice, koja utiče na ugaone brzine i zgloba kolena i zgloba kuka. Velika ugaona brzina u zglobu kolena rezultira većom brzinom stopala, a ovo je bitno za jake udarce. Da bi se postigla velika brzina stopala, neophodno je generisati energiju u ranim fazama pokreta.

Prilikom izvođenja bočnog volej udarca u fudbalu, važne su i interakcije između pojedinih mišićnih grupa. Kontrakcija agonista inicira kretanje u svakom zglobu, ali ovi mišići postaju i antagonisti kada je potrebno usporiti kretanja u zglobovima pre, tokom ili posle kontakta sa loptom. Fleksori u zglobu kuka su dominantna mišićna grupa u najvećoj fazi zamaha ka lopti. U inicijalnoj fazi, kontrakcija fleksora u zglobu kuka je kratko ekscentrična, kao posledica uzdužne rotacije trupa i karlice oko stajne noge, što uz neodvajanje noge koja izvodi udarac, od podloge, uzrokuje izbacivanje kuka unapred. Ubrzo nakon toga, kontrakcija fleksora u zglobu kuka postaje koncentrična i tom prilikom povećava brzinu kretanja natkolenice ka lopti. Pre kontakta sa loptom, ekstenzori u zglobu kuka, npr. zadnja loža, postaju dominantni, uslovljavajući usporavanje natkolenice i zgloba kolena ili čak, njihovo zaustavljanje kod pojedinih ispitanika. Ekstenzori u zglobu kolena, mišići kvadricepsa, dominantna su mišićna grupa tokom zamaha unazad i unapred zamajnom nogom. U prvom slučaju je kontrakcija ekscentrična, i smanjuje preveliku fleksiju u zglobu kolena, izazvanu zamahom noge unazad i preteranom ekstenzijom u zglobu kuka. Ekstenzori zgloba kolena, zatim, deluju kratko u smeru koncentrične kontrakcije i izazivaju inicijaciju ekstenzije u zglobu kolena i fleksije u zglobu kuka. Neposredno pre kontakta sa loptom, fleksori u zglobu kolena postaju dominantni u ekscentričnom režimu rada, kako bi iskontrolisali eventualnu prekomernu ekstenziju u zglobu kolena, koja može nastati kao posledica velikog momenta inercije potkolenice, koja postoji u toj fazi izvođenja udarca (Luhtanen).

Kretanje i položaj ruku, prilikom izvođenja bočnog volej udarca po lopti u fudbalu, veoma je važan i ima zadatak da drži balans tela u kretanju. U pripreмноj fazi, pre nego što započne faza zamaha, ruke obično vrše pokret odvođenja (abdukcije) u odnosu na trup. Iniciranje rotacije trupa oko uzdužne ose realizuje se zamahom ruku u smeru rotacije noge koja realizuje udarac, koji utiče na povećavanje momenta inercije trupa. Tokom kretanja udarne noge unapred, uloga gornjih ekstremiteta je više u cilju uvećanja brzine i kontrole zamaha udarne noge, pre nego održavanje balansa celog tela. Može se smatrati da je izvođenje bočnog volej udarca tehnički element koji se, za razliku od instep udarca, izvodi u neravnotežnim uslovima, gde je, zbog efikasnosti izvođenja, neophodno izvesti centar mase iznad stajne noge. Radi kontrole završne faze, udarca neposredno pre i tokom kontakta sa loptom, (tj.kako bi se obezbedili dobri oslonci proksimalnih delova lokomotornog sistema), rotacija oko uzdužne ose trupa se realizuje u suprotnom smeru od smera rotacije noge koja realizuje udarac. Kada noga dotakne loptu, suprotna ruka se kreće unapred i naviše kroz telo, i na taj način održava balans i ravnotežu celog tela, obezbeđujući sistemu da nastavi kretanje u samoj igri.

Indikator uspešnosti instep udarca, koji se najčešće koristi u biomehaničkim istraživanjima, je brzina lopte posle udarca, dok je u nekim istraživanjima korišćena i razdaljina koju lopta pređe. U ranijim istraživanjima primećene su razlike u ovoj varijabli kada su udarce izvodili ispitanici različitog nivoa tehničke obučenosti. Prilikom izvođenja maksimalnog instep udarca vrhunskih fudbalera, u rezultatima do kojih je došlo nekoliko autora, brzina lopte je između 17 i 28 m/s, međutim, brzina lopte na svetskom prvenstvu 1990. godine dostizala je 32-35 m/s (Kellis, 2007 prema Ekblom, 1994). Day (1987) je istraživao maksimalnu brzinu lopte dece uzrasta od 8-14 godina i rezultati su se kretali u rasponu od 12,0-15,5 m/s. Ovi rezultati su u skladu sa rezultatima koje je dobio Luhtanen (1988), koji za fudbalere uzrasta 10-18 godina prikazuje rezultate u vrednosti 15-22 m/s. Pokazalo se da nivo tehničke obučenosti, brzina zaleta i uzrast utiču na brzinu lopte. Na stopalu u plantarnoj fleksiji, pre sudara sa loptom, prsti i stopala postižu veće brzine od centra mase stopala, što dovodi do veće brzine, nego u skočnom zglobu. U prethodnim istraživanjima je pokazana značajna veza između brzine lopte i brzine stopala, na osnovu čega se može izvesti zaključak da brzina stopala ima značajan uticaj na mehaniku sudara stopala i lopte. Pored pomenutih indikatora uspešnosti udarca po lopti, jedna od mera nivoa tehničke obučenosti izvođenja ovog udarca je i maksimalna ugaona brzina ekstenzije u

zglobu kolena, koja se dešava neposredno pre udarca. To se može povezati sa rezultatom da ugaona brzina u zglobu kolena ima visoku korelaciju sa brzinom kretanja kraja kinetičkog lanca (stopala). Prema konkretno navedenim nalazima, naredna istraživanja će ići u smeru zadržavanja prethodnih varijabli i uvođenja različitog karaktera i intenziteta ekscentričnosti-rotacije lopte, kao i objašnjenja funkcije stabilizatora stajne noge, funkcije abduktora i ekstenzora zamajne noge, kao i stabilizacionu funkciju ose aduktora i abduktora stajne noge.

9. ZAKLJUČCI

Osnovi cilj u ovom eksperimentalnom istraživanju je bio da se kod vrhunskih fudbalera odredi, iz aspekta razmene brzine i preciznosti, šema optimizovanja kretanja po kriterijumu efikasnosti i ekonomičnosti bočnog volej udarca. Bočni volej udarac je izvodilo 30 ispitanika – profesionalnih fudbalera koji su članovi nacionalne selekcije Srbije (mladi reprezentativci) i isti pripadaju eksperimentalnoj grupi. Većina ispitanika je, u trenutku izvođenja testiranja, igralo u velikim inostranim klubovima (FC Chelsea, FC Benfica, FC Leiria, FC München 1860, FC Luch – Energia, FC Brantford Galaxy, FC London City, FC Košice) kao i domaćim (FC Crvena Zvezda, FC Partizan, OFC Beograd). Uzorak varijabli su činile dve kriterijumske (brzina i visina lopte) i dvadeset pet prediktorskih varijabli.

Rezultati istraživanja ukazuju da postoje preduslovi za zaključke koje možemo podeliti u dva pravca. Prvi se odnosi na biomehaniku izvođenja pokreta, dok se drugi odnosi na mehanizam motornog upravljanja pri bočnom volej udarcu.

Postoje dva načina izvođenja bočnog volej udarca, u odnosu na brzinu i visinu lopte. Za visoke i brze lopte, pokret se izvodi zamrznutom pozicijom segmenata kinetičkog lanca tj. koristi se relativno simultana kinematička šema. U uslovima niske i spore lopte, koristi se otvorena kinematička šema („bič”), tj. pokreću se segmenti od proksimalnog ka distalnom kraju kinetičkog lanca, u cilju postizanja najveće brzine kraja kinetičkog lanca (stopala).

Postoje promene u kinematičkoj adaptaciji lokomotornog aparata na različite mehaničke uslove izvođenja pokreta bočnog volej udarca, čime je potvrđena generalna hipoteza (H).

Utvrđeno je da se sa povećanjem brzine lopte povećava brzina realizacije pokreta i skraćuje egzekutivna faza po trajanju, čime se potvrdila hipoteza (H₁).

Utvrđeno je da se po principu Bernštajnovih sinergija, slaganje brzina pojedinačnih segmenata odvija na različit način u odnosu na brzinu dolazeće lopte, čime je potvrđena hipoteza(H₂).

Utvrđeno je da se sa povećanjem visine lopte, usled smanjenja broja stepeni slobode u zglobu kuka, sistem izraženo ponaša prema H₃ hipotezi koristeći simultanu kinematičku šemu pokreta.

Povećanjem brzine lopte, stepen odstupanja ugla u zglobu kolena se u trenutku kontakta stopala sa loptom, smanjuje, što implicira da je veća brzina uslov za efikasno i tačno izvođenje bočnog volej udarca. Time je potvrđena zakonitost F – F modela motornog upravljanja.

Utvrđeno je da ne postoji značajan uticaj početne pozicije u zglobu kolena na zadati kretni zadatak. Postoji uticaj maksimalno ostvarenog ugla u zglobu kolena na stepen zamrznutosti kinetičkog lanca.

Potvrđena je generalna teorija upravljanja brzim pokretima za varijablu vreme proteklo od minimalnog ugla u zglobu kolena do trenutka kontakta stopala sa loptom, u delu koji ukazuje da se fudbaler iz aspekta vizuelne percepcije najlošije adaptira na prebrze i prespore lopte.

Postoji direktan uticaj brzine i visine lopte na ugao u zglobu kuka. Za izvođenje bočnog volej udarca potrebno je održati dinamičku stabilnost sistema, što se postiže dužim zadržavanjem natkolenice (kao najmasivnijeg segmenta) nešto duže u jednom položaju.

Utvrđeno je da postoji sličan način upravljanja pokretom za niske i srednje lopte kada je u pitanju kontrola trajanja za varijablu vreme proteklo od trenutka ostvarenog maksimalnog ugla u zglobu kuka do trenutka kontakta stopala sa loptom.

Ne postoji zavisian odnos između brzina i načina izvođenja (koliko rotaciono ili translatorno) pokreta bočnog voleja za varijablu ugaona brzina u zglobu kolena u trenutku kontakta stopala sa loptom. Postoje razlike u egzekutivnoj fazi između sporih i umerenih lopti za varijablu maksimalno ostvarena ugaona brzina u zglobu kolena pri izvođenju bočnog volej udarca.

Postoje kvalitativno različiti programi za ubrzavanje natkolenice u zglobu kuka za spore, brze i umerene lopte, za varijablu ugaona brzina u zglobu kuka u trenutku kontakta sa

loptom. Ovo ukazuje na težinu složenog motornog programa sadržanog od simultane veze sporog i brzog pokreta. Ne postoji značajan uticaj maksimalno ostvarene ugaone brzine na efikasnost izvođenja bočnog volej udarca.

Za varijablu ugao koji zaklapaju ose rame – kuk i kuk – peta u trenutku kontakta stopala sa loptom, pronađen je nezavisan uticaj brzine lopte u odnosu na visinu lopte i otklona trupa u odnosu na osu noge. Može se zaključiti da susedni delovi tela utiču na ravnotežu i stabilnost i moraju biti, u odnosu na brzinu, precizno pozicionirani.

Postoji uticaj brzine lopte na usporenja sistema za varijablu ugaona brzina između osa rame – kuk i kuk – peta u trenutku kontakta stopala sa loptom. Ne postoje značajne razlike u maksimalnoj ugaonoj brzini između različitih visina na nivou svake od brzina (za varijablu maksimalno ostvarena ugaona brzina između osa rame – kuk i kuk – peta). Može se zaključiti da se pokret izvodi na sličan način, i da nije dominantna karakteristika pri izvođenju bočnog volej udarca. Pronađena je razlika u kvalitativnim motornim programima za spore i brze lopte za varijablu minimalno ostvarena brzina centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca.

Utvrđeno je da ne postoje razlike u usporavajućoj fazi kolena, za varijablu vremenski period protekao od trenutka ostvarene maksimalne brzine centra zgloba kolena do trenutka kontakta sa loptom, nezavisno od toga koja je kombinacija brzine i visine lopte. Ovo govori o relativno stabilnoj programskoj šemi.

Postoji relativno stabilan odnos između maksimalne brzine i proteklog vremena, za varijablu maksimalno ostvareno ubrzanje centra zgloba kuka pri izvođenju bočnog volej udarca.

Povećanjem brzine lopte povećava se maksimalno ubrzanje stopala, za varijablu maksimalno ostvareno ubrzanje stopala pri izvođenju bočnog volej udarca. Fudbaler mora da poveća maksimalno ostvareno ubrzanje zarad stabilnosti sistema u neposrednom kontaktu sa loptom.

Postoji zavisian odnos između najnižih visina i najvećih brzina lopte sa jedne strane, i najveće vrednosti brzine stopala sa druge strane, za varijablu brzina stopala u trenutku kontakta sa loptom.

10. PRAKTIČNE IMPLIKACIJE

Sa stanovišta praktične primene u fudbalu, rezultati istraživanja trenerima projektuju izbor metodskih postupaka prilikom učenja, uvežbavanja i usavršavanja pokreta bočnog volej udarca. Konkretno, fudbaleru treba dati jasnu instrukciju kako da upravlja pokretom, tj. kako da pozicionira segmente u odnosu na visinu i brzinu dolazeće lopte.

Praksa je pokazala da za brze lopte ne postoji zadržka već se pokret izvodi „zamrznutom“ pozicijom natkolenice, potkolenice i stopala. U uslovima dolazeće spore lopte, bočni volej udarac treba izvesti na principu „biča” tj. prvo pokrenuti natkolenicu, na koju se nadovezuje potkolenica i na kraju stopalo. Ovi pokreti treba da budu mekani, opuštteni i međusobno povezani, stvarajući dinamičko – ritmičku celinu.

Kada se povećava visina dolazeće lopte, fudbaler mora da približi osu trupa i osu natkolenice udarne noge, kako bi zadržao dinamičku stabilnost tela. Zbog toga treba insistirati da fudbaler natkolenicom zauzme višu poziciju, i da ostali segmenti ne preteknu kuk. U uslovima dolaska niske lopte, pokret je potrebno izvesti brže u odnosu na visoku loptu, zato što egzekutivna faza kraće traje. Zato fudbaleru treba što kraće da traje odvođenje segmenata u zadnju poziciju.

Proces edukacije treba izvoditi u uslovima umereno brze dolazeće lopte, kada nastaje oslobadajuća faza pokreta. Kako se povećava brzina dolazeće lopte, fudbaleri moraju trup i udarnu nogu precizno da pozicioniraju, tako što otklon trupa mora biti veći u suprotnom smeru od dolaska lopte, i da kontakt stopala udarne noge i lopte bude u što pruženijoj poziciji stopala. Potrebno je insistirati kod fudbalera, da kada im dolaze brze lopte, kuk bude najsporiji segment u lancu, kako bi egzekutivna faza imala precizan završetak.

Najveće brzine stopala fudbaleri postižu pri dolasku niske lopte, a to je moguće sprovesti postavkom tela i ubrzavanjem sistema, jer niske lopte pretpostavljaju najbolje mehaničke uslove (najveću amplitudu pokreta) izvođenja.

Pri kontaktu stopala i lopte, za najbrže lopte, potrebno je najveće ubrzanje stopala da bi se usmereno odredio pravac leta lopte. To podrazumeva osiguranje stabilnosti sistema preko stajne noge, na podlozi kao osloncu. Određenu stabilnost možemo osigurati preko

zamajne noge, koju treba, neposredno pre kontakta sa loptom, opružiti i fiksirati u svim zglobovima. Dodatnu stabilnost moguće je postići i kompenzatornim kretanjima tela i ruku.

Fudbalera treba uputiti da ne preseca dinamičku celinu pokreta. U skladu sa ovim potrebno je instruisati fudbalera da brze lopte dočeka u zamrznutom položaju kinetičkog lanca sa akcentom na zglob kuka, a spore lopte sa zadržkom u zglobu kuka kako bi kraj kinetičkog lanca (stopalo) postiglo najveću brzinu, i da se u završnoj fazi orijentiše prema poziciji skočnog zgloba.

U završnoj fazi pokreta, potrebno je izvršiti prenos težine tela sa stajne na zamajnu nogu, kako bi se omogućio dalji nastavak kretanja fudbalera.

Aktuelno planiranje ciklusa treniranja i metodski postupci ne mogu u dovoljnoj meri uticati na dostizanje vrhunskog nivoa fudbalske tehnike. Samo uz praćenje biomehaničkih i drugih varijabli i varijabli motornog upravljanja preko kojih se vrši kontrola izvođenja fudbalske tehnike, može se očekivati dostizanje najvišeg nivoa izvođenja bočnog volej udarca. Na taj način, uz primenu u svakodnevnoj fudbalskoj praksi, najpreciznije se uočavaju i ispravljaju greške u tehnici izvođenja pokreta. Samo spoznajom i nivoom boljeg upražnjavanja ovog pokreta, unapređuje se brzina realizovanja fudbalske igre.

11. LITERATURA

- ABDUSAMATOV, R.M., ADAMOVICH, S.V., FELDMAN, A.G. (1987): *A model for one-joint motor control in man*. In GN Gantchev, B Dimitrov, & P Gatev (Eds.) *Motor Control* (pp. 183-187). New York: Plenum Press.
- ABDUSAMATOV, R.M. & FELDMAN, A.G. (1986): *Description of the electromyograms with the aid of a mathematical model for single joint movements*. *Biophysics* 31: 549-552.
- ADAMOVITCH, S.V. & FELDMAN, A.G. (1989): *The prerequisites for one-joint motor control theories*. *Behav Brain Sci* 12: 210-211.
- ADRIAN, L. (1996): *Biomechanics applied to soccer skills*. *Science and soccer* (123 - 133), Iln R. Thomas (Ed), London: E & FN Spon.
- ALEXANDER, GE. (1987): *Selective neuronal discharge in monkey putamen reflects intended direction of planned limb movements*. *Exp Brain Res* 67: 623-634.
- ALLAN, G. (1979): *The perception of time*. *Percept Psychophys* 26: 340-354.
- AMIRI-KHORASANI, M., AZUAN ABU OSMAN, N., YUSOF, A. (2009): *Biomechanical responses of instep kick between different positions in professional soccer players*. *Journal of human kinetics Vol.22 (2009), 21-28*.
- APRIANTONO, T., NUNOME, H., IKEGAMI, Y. and SANO, S. (2006): *The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football*. *Journal of Sports Sciences* 24, 951 -960.
- ARBIB, M.A. (1980): *Interacting schemes for motor control*. In GE Stelmach & J Requin (Eds.) *Tutorials in motor behavior* (pp. 71-81). Amsterdam: North -Holland.
- ASATRYAN, D.G & FELDMAN, A.G. (1965): *Functional tuning of the nervous system with control of movements or maintenance of a steady posture. I. Mechanographic analysis of the work of the limb on execution of a postural task*. *Biophysics* 10: 925-935.
- ATKESON, C.G. (1989): *Learning arm kinematics and dynamics*. *Annual Reviews in Neuroscience* 12: 157-183.
- BAHILL, A.T., CLARCK, M.R. STARK, L. (1975a): *Dynamic overshoot in saccadic eye movements is caused, by neurological control signal reversals*. *Experimental Neurology*, 48: 107-122.

- BALL, K. (2007): Use of weighted balls in improving kicking for distance VIth WORLD CONGRESS ON SCIENCE AND FOOTBALL. *Journal of Sports Science and Medicine Suppl.* 10, 1-222
- BARFIELD, W.R., KIRKENDALL, D. and YU, B. (2002): Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine* 3, 72-79.
- BASUMATARY, S. BEGG R.K. and DIAMOND N.T.(1999): Biomechanical analysis of the instep-kick in soccer. Communications to the Fourth World Congress of Science and Football. *Journal of Sports Sciences*, 17, 807- 840
- BENECKE, R., NEINCK, H.M., CONRAD, B. (1985): *Rapid goal-directed elbow flexion movements: Limitations of speed control system due to neural constraints.* *Exp Brain Res* 59: 470-477.
- BERKINBLIT, M.B., GELFAND, I.M., FELDMAN, A.G. (1986b): *A model for the control of multijoint movements.* *Biofizika* 31: 128-138.
- BERNSTEIN, N.A. (1967): *The coordination and regulation of movements.* New York: Pergamon.
- BERNSTEIN, N.A. (1991): *On dexterity and its development.* Moscow: Physical Culture and Sport press (in Russian).
- BIZZI, E., ACCORNERO, N., CHAPPLE, W., HOGAN, N. (1982): *Arm trajectory formation in monkeys.* *Exp Brain Res* 46: 139-143.
- BIZZI, E. & HOGAN, N. (1992): *Does the nervous system use equilibrium-point control to guide single and multiple joint movements?* *Behavioral and Brain Sciences.* 15: 603-613.
- BOCK, O. & ECKMILLER, R. (1986): *Goal-directed arm movements in absence of visual guidance: evidence for amplitude rather than position control.* *Experimental Brain Research* 62: 451-458.
- BOUISSET, S. & LESTIENNE, F. (1974): *Organization of simple voluntary movement as analyzed from its kinematic properties.* *Brain Res* 71: 451-457.
- BRNAD, I. (1997) Kinematička analiza bočnog volej udarca u nogometu. Diplomski rad, Fakultet za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb
- BROOKHART, J.M. (1979): *Convergence of an understanding of motor control.* In RE Talbott & DR Humphrey (Eds.) *Posture and movement* (pp. 295-303). New York: Raven Press.
- BROWN, S.H. & COOKE, J.D. (1990): *Movement-related phasic muscle activation. I. Relations with temporal profile of movement.* *J Neurophysiol* 63: 455-464.

- BUCHANAN, TS, ROVAI, G.P., RYMER, W.Z. (1989): *Strategies for muscle activation during isometric torque generation at the human elbow*. J Neurophysiol 39: 925-935.
- BULLOCK, D. (1989): *Saturation is not an evolutionary stable strategy*. Behav Brain Sci 12: 212-214.
- CARLTON, L.G. (1981): *Processing visual feedback information for movement control*. Motor control, chapter 30. by Steven Keele.
- CHERON, G. & GODAUX, E. (1986): *Self-terminated fast movement of the forearm in man: Amplitude dependence of the triple burst pattern*. J Biophys Biomec 10: 109-117.
- COOKE, J.D. & BROWN, S.H. (1990): *Movement-related phasic muscle activation. II Generation and functional role of the triphasic pattern*. J Neuro-physiol 63:465-472.
- COOKE, J.D. (1980): *The organization of simple, skilled movements*. In G.E. Stelmach, J.Revuin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 199-212). Amsterdam: North-Holland.
- CORDO, P.J. & NASHNER, L.M. (1982): *Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements*. J Neurophysiol 47: 287-302.
- CRUSE, H., WISCHMEYER, E, BRUWER, M., BROCKFIELD, P., DRESS, A. (1990): *On the cost functions for the control of the human arm movement*. Biol Cybern 62: 519-528.
- DARLING, W.G., COLE, K.J., ABBS, J.H. (1988): *Kinematics variability of grasp movements as a function of practice and movement speed*. Exp Brain Res 73: 225-235.
- DAY, B.L. & MARSDEN, CD. (1982): *Accurate repositioning of the human thumb agents unpredictable dynamics loads is dependent upon peripheral feedback*. J Physiol 327: 393-407.
- DORGE, H., BULL-ANDERSEN, T., SORENSEN, H., SIMONSEN, E., AAGAARD, H., DYHRE-POULSEN, P., KLAUSEN, K. (1999): *EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick*. Scand J Med Sci Sports 1999: 9: 195-200.
- DORGE, H., BULL-ANDERSEN, T., SORENSEN, H. and SIMONSEN, E. (2002): *Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg*. Journal of Sports Sciences 20, 293-299.
- ENGELHORN,R. (1983): *Agonist and antagonist muscle EMG activity pattern changes with skill acquisition*. Research Quarterly in Exercise and Sport, 54: 315-323.
- ENOKA, R.M. (1983). *Muscular control of a learned movement: The speed control system hypothesis*. Exp Brain Res 51: 135-145.

- FELDMAN, A.G. (1966b): *Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture: III Mechano graphic analysis of the execution by man of the simplest motor taslcs.* Biophysics, 11: 667-675.
- FELDMAN, A. G. (1974): *Change of muscle length due to shift of equilibrium point of the muscle-loadsvstem.* Biophysics, 18: 17-54.
- FELDMAN, A.G. & LATASH, M.L. (1982b): *Interaction of afferent and efferent signals underlying joint position sense: Empirical and theoretical approaches.* J Mot Behav 14: 174-193.
- FLASH, T. & HOGAN, N. (1985): *The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model.* J Neurosci 5: 1688-1703.
- FLASH, T. & MUSSA-IVALDI, FA. (1984): *Inferring movement and muscle synergies from multi-joint arm posture.* Neuroscience 10:635.
- FREUD, H.J. & BUDINGEN, H.J. (1978): *The relationship between speed and amplitude of the fastest voluntary contractions of human arm muscles.* Exp Brain Res 55: 167-171.
- GHEZ, C. & VICARIO, D. (1978): *The control of rapid limb movement in the cat. I. Response latency.* Exp Brain Res 33: 173-189.
- GHEZ, C. & GORDON, J. (1987): *Trajectory control in targeted force impulses. I Role of opposing muscles.* Experimental Brain Research 67: 225-240.
- GIELEN, C.C.A.M. & DENIER VAN DER GON, J.J. (1989): *If a particular strategy is used, what aspects of the movement are controlled.* Behaviour Brain Sciences 12: 218.
- GORDON, J. & GHEZ, C. (1987): *Trajectory control in targeted force impulses. II Pulse height control.* Experimental Brain Research 67: 241-252.
- GREENE, PH. (1972): *Problem of organization of motor systems.* ProgTheor Biol 2: 303-338.
- GREIG, M.; LOVELL, R. and SIEGLER, J. (2007): *Influence of soccer-specific fatigue on kinematics of kicking.* VIth WORLD CONGRESS ON SCIENCE AND FOOTBALL. Journal of Sports Science and Medicine Suppl. 10, 1-222
- GUTMAN, S.R., GOTTLIEB, G.L., CORCOS, D.M. (1992): *Exponential model of a reaching movement trajectory with non linear time.* Comments Theor Biol 2: 357-383.
- HANCOCK, PA. & NEWELL, K.M. (1985): *The movement speed-accuracy relationship in space-time.* In H Heuer, U Kleinbeck & KH Schmidt (Eds.) *Motor behavior: Programming, control and acquisition* (pp. 153-188). Berlin: Springer-Verlag.
- ILIĆ, B.D. & JARIĆ, S. (1992): *Učenje brzih osnovnih pokreta: Uticaj početnog na terminalni položaj segmenta.* Fizička kultura, 46: 203-207.

- ILIC, D.B., CORCOS, D.M., GOTTLIEB, G. L., LATASH M.L., JARIC, S. (1996): *The Effects of Practice on Movement Reproduction: Implications for Models of Motor Control*. Human Movement Sciences, 15: 101-114.
- JARIC, S., CORCOS, D.M., GOTTLIEB, G.C., ILIC B.D., LATASH M.L. (1995): *The effects of practice on movement distance and final position reproduction: Implications for the equilibrium-point control of movements*. Experimental Brain Research, 101:353-359.
- JOSEPH, A. L. (1999): *Shooting skills. Attacking Soccer (182)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- KARST, G.M. & HASAN, Z. (1990): *Direction-dependent strategy for control of multi-joint arm movements*. In JM Winters & SL-Y Woo (Eds.) Multiple muscle systems. Biomechanics and movement organization (pp. 268-281). New York: Springer-Verlag.
- KATHIB, O. (1983): *Dynamic control of manipulators in operational space*. 6 IFTMM Congress on Theory of Machines and Mechanisms. New Delhi.
- KEELE, S. W. (1988): Movement control in skilled motor performance. Psychological Bulletin, 70: 387-403.
- KELLIS, E., KATIS, A. & GISIS, I.(2004): *Knee Biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach*. Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 36, No. 6: 1017-1028.
- KELLIS, E., KATIS (2007): Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine* 6, 154 - 165.
- KELLIS, E., KATIS, A. and VRABAS, I.S. (2006): Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 16, 334-344
- KELSO, J.A. & SCHONER, G. (1988): *Self-organization of coordinate movement patterns*. Human Movement Science 7: 27-46.
- KELSO, J.A.S. & HOLT, KG. (1980): *Exploring a vibratory systems analysis of human movement production*. Journal of Neurophysiology 43: 1183-1196.
- KELSO, J.A.S., BUCHANAN, J.J., WALLACE, S.A. (1991): *Order parameters for the neural organization of single, multijoint limb movement patterns*. Exp Brain Res 85: 432-444.
- KELSO, J.A.S., HOLT, K.G., KUGLER, P.N., TURVEY, M.T. (1980): *On the concept of coordinate structures as dissipative structures. II Empirical lines of convergence*. In GE Stelmach & J Requin (Eds.) Tutorials in motor behavior (pp. 49-70). Amsterdam: North-Holland.
- KELSO, J.A.S., PUTNAM, C.A., GOODMAN, D. (1983): *On the spacetime structure of human interlimb coordination*. Quart J Exp Psychol 35: 347-375.

- KELSO, J.A.S. & SCHONER, G. (1988): *Self-organization of coordinate movement patterns*. Hum Mov Sci 7: 27-46.
- KNIFFKI, K.D., SCHOMBURG, E.D., STEFFENS, H. (1981): *Convergence in segmental reflex pathways from fine muscle afferents and cutaneous or group II muscle afferents to motoneurons*. Brain Res 218: 342-346.
- KUGLER, P.N., TURVEY, M.T., SCHMIDT, R.C., ROSENBLUM, L.D. (1990): *Investigating a nonconservative invariant of motion in coordinated rhythmic movements*. Ecol Psychol 2: 151-189.
- LAABS, J. G. (1980): *On perceptual processing in motor memory*. In C.H. Nadeau, WR. Halliwell, K. M. Newell, Robverts, G.C. (Eds) *Psychology of Motor Behavior and sport*, 1979, Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- LATASH, M.L. (1989b): *Implications of the equilibrium-point hypothesis for the variability of aimed hand movements*. In CJ Worringham (Ed.) *Spatial, temporal and electromyographical variability in human motor control* (pp. 16-17). Ann Arbor: University of Michigan.
- LATASH, M.L. (1989c): *Dynamic regulation of single-joint voluntary movements*. Doctoral dissertation, Rush University, Moscow.
- LATASH, M.L. (1992): *Virtual trajectories, joint stiffness, and changes in natural frequency during single-joint oscillatory movements*. Neurosci 49: 209-220.
- LATASH, M.L. (1994): *Control of fast elbow movement: A study of electromyographic patterns during movements against unexpectedly decreased inertial load*. Experimental Brain Research 98: 145-152.
- LATASH, M.L. & GOTTLIEB, G.L. (1990): *Compliant characteristics of single joints: preservation of equifinality with phasic reactions*. Biological Cybernetics 62: 331-336.
- LATASH, M.L. & GUTMAN, S.R. (1993): *Variability of fast single-joint movements and equilibrium-point hypothesis*. In: K.M. Newell and D.M. Corcos (eds.), *Variability in Motor Control*, (pp 157-182) Human Kinetics, Urbana, IL.
- LATASH, M.L. & GOTTLIEB, G.L. (1991a): *An equilibrium-point model of dynamic regulation for fast single-joint movements: I Emergence of strategy-dependent EMG patterns*. J Mot Behav 23: 163-177.
- LATASH, M.L. & GUTMAN, S.R. (1992): *Variability of fast single-joint movements and the equilibrium-point hypothesis*. In K Newell & DM Corcos (Eds.) *Variability and motor control*. Champaign, IL: Human Kinetics.

- LATASH, M.L., GOTTLIEB, G.L. (1992): *Virtual trajectories of single joint movements performed under two basic strategies*. Neuroscience, Vol. 47, No. 2, pp. 357-365.
- LATASH, M.L. (1994): *Control of Human Movement*. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
- LEVANON, J. and DAPENA, J. (1998): Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 917-927.
- LEES, A. and NOLAN, L. (1998): The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences* 16, 211-234.
- LEES, A. AND DAVIES, T. (1988): The effects of fatigue on soccer kick biomechanics {abstract}. *Journal of Sports Sciences* 8, 156-157.
- LESTIENE, F. (1979): *Effects of inertia! loads and velocity on the braking process of voluntary limb movements*. Exp Brain Res 35: 407-418.
- LOVELACE, E.A. (1989): *Vision and kinesthetic in accuracy of hand movement*. Perceptual and Motor Skills, 68: 707-714.
- LUNDBERG, A (1975): *Control of spinal mechanisms from the brain*. In DB Tower (ED.) The Nervous System, vol. 2. New York: Raven Press.
- LUNDBERG, A. (1975): *Multisensory control of spinal reflex pathways*. In Granit, R. & Pompeiano, O. (Eds.) Reflex control of posture and movement (pp. 11-128) Amsterdam: Elsevier.
- MAGILL, A. R. : Motor Learning. Concepts and applications. McGraw – Hill Companies. Illinois. USA. 1998.
- MANOLOPOULOS, E., PAPADOPOULOS, C. and Kellis, E. (2006): Effects of combined strength and kick coordination training on soccer kick biomechanics in amateur players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 16, 102-110
- MARSDEN, CD., MERTON, PA., MORTON, H.B. (1972): *Servo action in human voluntary movement*. Nature, 238: 140-143.
- MARTENIUK, R.G., ROY E.A. (1972): *The codability of kinesthetic location and distance information*. Acta Psychologica, 36: 471-479.
- MASUDA, K., KIKUHARA, N., DEMURA, S., KATSUTA, S. & YAMANAKA, K. (2005): *Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players*. J Sports Med Phys Fitness, 45: 44-52.

- MAYER, D.E., ABRAMS, R.A., KORNBLUM, S., WRIGHT, C.E., SMITH, E.K., (1988): *Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements*. Physiological Review. Vol. 95, No. 3: 340-370.
- McCLOSKEY, D.I. (1978): *Kinaesthetic sensibility*. Physiol Rev 58: 763-820.
- McLEOD, PA. (1979): *A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention*. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 29: 651-668.
- McLEOD, P., McLAUGHLIN, C, NIMMO-SMITH, I. (1985): *Information encapsulation and automaticity: Evidence from the visual control of finally tuned action*. In M.I. and performance XI (pp.391-406). Hillsdale, NLElrbaum.
- McCRUDDEN M., REILLY, T. (1993): *A comparison of the punt and the drop-kick*. In: Science and Football II. Reilly, T., Clarys, J., Stibbe, A. (eds.) E. and F.N. Spon, London, 362-366.
- MEYER D.E., ABRAMS, R.A., KORNBLUM, S., WRIGHT, C.E., SMITH, J.E.K. (1988): *Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements*. Psychological Reviews 95: 340-370.
- MEYER, D.E., SMITH, J.E., KORNBLUM, S., ABRAMS, R.A., WRIGHT, C.E. (1990): *Speed-accuracy trade offs in aimed movements: Toward a theory of rapid voluntary action*. In M Jeannerod (Ed.) Attention and Performance XIII (pp. 173-225).
- MEYER, D.E., SMITH, J.E.K, WRIGHT, C.E. (1982): *Models for the speed and accuracy of aimed movements*. Psychol Rev 89: 449-482.
- MORASSO, P. (1981): *Spatial control of arm movements*. Exp Brain Res 42: 223-227.
- NAITO, K., FUKUI, Y., MARUYAMA, T. (2010): *Multijoint kinetic chain analysis of knee extension during the soccer instep kick*. Human movements science 29 (2010), 259-276.
- NEWELL, K.M. & CARLTON, L.G. (1985): *On the relationship between peak force and peak force variability in isometric tasks*. J Mot Behav 17: 230-241.
- NEWELL, K.M., CARLTON, L.G., HANCOCK, P.A. (1984): *Kinetic analysis of response variability*. Psychol Bull 96: 133-151.
- NEWELL, K.M., VAN EMMERIK, R.E.A., McDONALD, P.V. (1989): *On simple movements and complex theories (and vice versa)*. Behav Brain Sci 12: 229-230.
- NUNOME, H., ASAI, T., IKEGAMI, Y. and SAKURAI, S. (2002): *Threedimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks*. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 2028- 2036

- NUNOME, H.; LAKE, M.; GEORGAKIS, A. and STERGIOULAS, L.(2007): An alternative feature of impact phase kinematics of instep kicking in football. With World Congress on Science and Football. *Journal of Sports Science and Medicine Suppl.* 10, 1-222
- NUNOME, H., LAKE, M., GEORGAKIS, A. and STERGIOULAS, L.K. (2006): Impact phase kinematics of instep kicking in soccer. *Journal of Sports Sciences* 24, 11-22.
- OZAKI, H., & AOKI, K. (2007): *Kinematic and electromiographic analysis of infront curve soccer kick.* *Football science*, Vol.5: 26-36.
- NOUGIER, V., BARD, S., FLEURY, M., TEASDALE, N., COLE, J., FORGET, R., PAILLARD, J, LAMARRE, Y. (1996): *Control of single joint movements in deafferented patients: evidence for amplitude coding rather than position control.* *Exp Brain Res* 109: 473-482.
- PAINTAL, A.S. & WALSH, E.G. (1981): *Inhibition of tonic stretch reflex by J receptor activity.* *J Physiol* 316: 22P-23P.
- PATRITTI, B.L. LEES A.and NEVILL A.M. (1999): Kinematic model of kicking performance for the preferred and non-preferred leg in male soccer players. *Communications to the Fourth World Congress of Science and Football. Journal of Sports Sciences*, 17, 807- 840
- PEW, RW. (1966): *Acquisition of hierarchical control over the temporal organization of a skill.* *J Exp Psychol* 71: 764-771.
- POLIT, A. & BIZZI, E. (1979): *Characteristics of motor programs underlying arm movement in monkey.* *J Neurophysiol* 42: 183-194.
- POMPEIANO, O.'(1960): *Alpha types of "release" studied in tension-extension diagrams from cat's forelimb triceps muscle.* *Arch Ital Biol* 98: 92-117.
- POSNER, M.I. (1967): *Characteristics of visual and kinesthetic memory codes.* *Journal of Experimental Psychology* 75: 103-107.
- POULTON, E.C. (1988): *The journal of motor behavior in the 1960s and 1980s.* *Journal of Motor Behavior* 20: 75-78.
- PRABLANC, C, PELLISON, D., GOODALE, M.A. (1986): *Visual control of reaching movements without vision of the limb. I Role of retinal feedback of target position in guiding the hand.* *Exp Brain Res* 62: 293-302.
- ROSENBAUM, D.K. (1987): *Human Motor Control.* Academic Press, Inc. San Diego, California 92101.
- SALMONI, A.W., SCHMIDT, R. A., WALTER, C. B. (1988): *Knowledge of results and motor learning: A review and critical reapraisal.* *Psychological Bulletin*, 95: 355-386.

- SALTZMAN, E.L. & KELSO, J.A.S. (1987): *Skilled actions: A task-dynamic approach*. Psychol Rev 94: 84-106.
- SATO H., ASAI T. , MIYASHITA S. , MOURI M. ,OOMORI Y. (1999): Comparison of curve kick with instep kick by 3-D motion analysis. Communications to the Fourth World Congress of Science and Football. *Journal of Sports Sciences*, 17, 807-840
- SCHMIDT, R.A. (1988a): *The search for invariance in skilled movement behavior*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 56: 188-201.
- SCHMIDT, R.A., H. ZELAZNIK, B. HAWKINS, J.S. FRANK, QUINN, IT. (1979): *Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts*. Psychological Reviews 86: 415-451.
- SCHMIDT, R.A. (1990): *Motor control and learning*. Human Kinetics Publishers. Champaign, Illinois.
- SCHMIDT, R.A., SHERWOOD, D.E., ZELAZNIK, H.N., LEKIND, B.J. (1985): *Speed-accuracy trade-offs in motor behavior: Theories of impulse variability*. In H.Heuer, U.Kleinbeck, K.H.Schmidt (Eds), *Motor behavior: Programming, control, and acquisition* (pp.79-123). Berlin: Springer-Verlag.
- SCHMIDT, A.R., WRISBERG, A.C. : *Motor Learning and Performance*. Human Kinteics. Champaign. Illinois. USA. 2000
- SCHONER, G. (1990): *A dynamic theory of coordination of discrete movement*. Biol Cybern 63: 257-270.
- SCHONER, G. & KELSO, J.A.S. (1988): *Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems*. Science 239: 1513-1520.
- SCHONER, G. & KELSO, J.A.S. (1988): *Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems*. Science 239: 1513-1520.
- SHAN, G. B., & WESTERHOFF, P. (2005): *Full body kinematic characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality*. Sport biomechanics, 4 (1): 52 -72.
- SHAPIRO, D. C. & WALTER, C. B. (1989): *The control of rapid positioning movements with spatiotemporal constraints*. Up published Manuscript. UCLA.3
- SHERWOOD, D.E., SCHMIDT, R.A., WALTER, C.B. (1988): *Rapid movements with reversals in direction. II Control of movement amplitude and inertia! load*. Exp Brain Res 69: 355-367.
- SHIK, M.L. & ORLOVSKY, G.N. (1976): *Neurophysiology of locomotor automatism*. Physiol Rev 56: 465-501.

- SHINKAI, H.; NUNOME, H.; IKEGAMI, Y. and ISOKAWA, M. (2006): Foot movement in impact phase of instep kicking in soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- SHINKAI, H.; NUNOME, H.; IKEGAMI, Y. and ISOKAWA, M. (2007): Ball-foot interaction in impact phase of instep soccer kick. With World Congress on Science and Football. *Journal of Sports Science and Medicine Suppl.* 10, 1-222
- SIMMONS, R.W & RICHARDSON, C. (1984): *Maintenance of equilibrium point control during an unexpectedly loaded rapid limb movement*. *Brain Res* 302: 239-244.
- SPORIS, G.; VUCETIC, V. and JUKIC, I. (2007): How to evaluate full instep kick in soccer? With World Congress on Science and Football. *Journal of Sports Science and Medicine Suppl.* 10, 1-222
- STERZING, T., LANGE, J.S., WACHTLER, T., MULLER, C. & MILANI, T.L. (2009): *Velocity and accuracy as performance criteria for three different soccer kicking techniques*, 27 International Society of Biomechanics in Sports Conference, Limerick, Ireland, 243-246.
- TAX, A.A.M., DENIER VAN DER GON, J.J., ERKELENS, C.J. (1990): *Differences in coordination of elbow flexor muscles in force tasks and in movement tasks*. *Exp Brain Res* 81: 567-572.
- TURVEY, M.T (1990a): *Coordination*. *Amer Psychol* 45: 938-953.
- VALLBO, A.B. (1974): *Human muscle spindle discharge during isometric voluntary contractions. Amplitude relations between spindle frequency and torque*. *Acta Physiol Scand* 90: 319-336.
- VON HOLST, E. (1954): *Relation between the central nervous system and the peripheral organs*. *Brit J Animal Behav* 2: 89-94.
- WADMAN, W.J., DENIER VAN DEN GON, J. J., GEUZE, R.H., MOL, C.R. (1979): *Control of fast goal directed arm movements*. *Journal of Human Movement Studies*, 5: 3-17.
- WALLACE, S.A. (1981): *An impulse-timing theory for reciprocal control of muscular activity in rapid, discrete movements*. *Journal of Motor Behavior* 13: 144-160.
- WALSH, W.D. & RUSSELL, D.G (1980): *Memory for preselected slow movements: evidence for integraton of location and distance*. *Journal of Human Movement Studies* 6: 95-105.
- WIERZBICKA, MM., WIEGNER, A.W., SHAHANI, B.T (1986): *Role of agonist and antagonist muscles in fast arm movements in man*. *Experimental Brain Research*, 63: 331-340.
- WILLIAMS, A.M. ALTY P. and LEES A. (1999): Effects of practice and knowledge of performance on the kinematics of ball kicking. *Communications to the Fourth World Congress of Science and Football. Journal of Sports Sciences*, 17, 807- 840

WRISBERG, C.A. & WINTER, TP (1985): *Reproducing the end location of a positioning movement: the long and short of it*. Journal of Motor Behavior 17: 242-254.

WRISBERG, C.A., MILLSLAGLE, D.G., SHLIESMAN, E.S. (1987): *Reproducing the end point of a positioning movement: a further test of influence of start location*. Journal of Human Movement Studies, 13: 391-398.

WRISBERG, C.A., WINTER, T.P. (1985): *Reproducing the time and location of a positioning movement: The long and short of it*. Journal of Motor Behaviour, 17: 242-254.

ZAJAC, EE. & GORDON, M.E. (1989): *Determining muscle's force and action in multi-articular movements*. Exer Sport Sci Rev 17: 187-230.

ZAJAC, EE., GORDON, M.E., HOY, M.G. (1986): *Physiological classification of muscle into agonist-antagonist muscle action groups: Theory and methodology based on mechanics*. Abstr Soc Neurosci 12: 1424.

www.fudbalskitrening.com

BIOGRAFIJA

Saša Kostić rođen je 25. marta 1969. godine na Ubu. Sa odličnim uspehom završava osnovnu i srednju školu. Godine 1989. upisuje studije na Fakultetu fizičke kulture Univerziteta u Beogradu na kome 1993. godine diplomira sa ocenom 10 (mentor prof. dr. V. Aleksić). Godine 1993. upisuje Višu trenersku školu u Beogradu – smer fudbal, a 1995. godine diplomira sa istom ocenom kod istog mentora. Od 1993. godine radi kao profesor fizičkog vaspitanja u srednjoj tehničkoj školi na Ubu. Od 2007. godine radi kao predavač na Akademiji za fudbal u Beogradu na predmetima metodika, tehnika, taktika fudbala. Autor je više radova u stručnim časopisima. Postdiplomske studije upisuje 1999. godine na Fakultetu fizičke kulture u Beogradu, gde je 2007. godine odbranio magistarsku tezu pod nazivom „Predlog normalizacije rezultata testova za procenu motoričkih sposobnosti dece od 11 do 14 godina“ (mentor prof. dr. Dragan Mirkov).

Aktivno igrao fudbal u FK "Jedinstvo" Ub od pionira do seniora, kao i u mlađim reprezentativnim selekcijama Srbije, u periodu od 1981. do 1993. godine. U periodu od 1993. do 1997. godine radio kao trener u FK "Jedinstvo" Ub, a od 1997. do 2004. godine radi kao instruktor – selektor u fudbalskom savezu Srbije i fudbalskom savezu regiona zapadne Srbije. U sezoni 2000/2001. godine bio šef stručnog štaba u FK "Jedinstvo" Ub, druga savezna liga. Od 2001. do 2003. godine radio kao trener u kadetskoj reprezentaciji Jugoslavije, od 2002. do 2004. godine radio kao trener u omladinskoj reprezentaciji Srbije i Crne Gore. Sa mlađim reprezentativim selekcijama osvajač većeg broja medalja na državnim prvenstvima. Učesnik, predavač, demonstrator i rukovodilac letnjih i zimskih škola u okviru saveza: Mitrovac, Kučevo, Kladovo, Igalo, Bar. Osvajač i učesnik većeg broja međunarodnih turnira za kadete i omladince sa reprezentativnim selekcijama. Vlasnik je „B“ i „A“ UEFA licence. Govori francuski jezik.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Костић Б. Саша

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Инваријантност моторних образаца при бочном волеј ударцу у фудбалу

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 03. 09. 2012.

Костић Саша

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Саша Б. Костић

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада Инваријантност моторних образаца при бочном волеј ударцу у фудбалу

Ментор Ред. проф. др. Душко Илић

Потписани/а Саша Б. Костић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 03. 09. 2012.

Костић Саша

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Инваријантност моторних образаца при бочном волеј ударцу у фудбалу

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

①. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 03. 09. 2012.

Космат Соња