

Biomehanička analiza tehnike kružnog udarca nogom

Perica, Bartola

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:431907>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Bartola Perica

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. ing.

Student:

Bartola Perica

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu. Sva mjerenja provedena su na Katedri za biomehaniku i ergonomiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu koja posjeduje sve potrebne licence i certifikate za programe i opremu koji su korišteni u ovome radu.

Zahvaljujem svima koji su mi pružili motivaciju i podršku kroz sve izazove tijekom studija, a posebno mentoru na suradnji.

Bartola Perica



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:



Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Bartola Perica** JMBAG: 0035220113

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Biomehanička analiza tehnike kružnog udarca nogom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Biomechanical analysis of the round kick technique**

Opis zadatka:

Unatoč prednostima i svestrane uloge u razvoju kvaliteta lokomotornog sustava čovjeka, učenje i uvježbavanje borilačkih kretnji (tehnika), podrazumijeva usvajanje izvođenja pravilnom biomehanikom pokreta. Važno je napomenuti da osnove učenja i korištenja svih borilačkih tehnika koje osim povećanja učinkovitosti tehnike, podrazumijevaju i zaštitu od ozljeda. Unatoč tome, greške u izvođenju tehnika, osobito ako su nedovoljno usavršene, razvojem drugih funkcionalnih mogućnosti poput intenziteta i eksplozivnosti pokreta, postaju ozbiljan problem, osobito u žaru borbe. Mnoge natjecateljske karijere su završile upravo zbog ozljeda izazvanih nepravilno izvođenim pokretima, pored ostalih razloga.

Jedna od čestih borilačkih tehnika je kružni udarac nogom, prisutan u mnogim borilačkim vještinama. Unatoč njenih brojnih prednosti, postoje ozbiljni rizici od ozljeda, što je dodatno potencirano uključivanjem u natjecateljske aktivnosti. Sve rečeno ukazuje da se biomehaničkom analizom pokreta trebaju proučiti pokazatelji kretnji koji ukazuju na ispravno izvođenje pokreta, utvrditi koji su anatomske i drugi rizici za nastajanje ozljeda, te zaključiti kako bi ih se moglo pravodobno otkloniti primjenom odgovarajućih smjernica za učenje i usavršavanje tehnika.

U radu je potrebno:

- Prikazati teoretske osnove ispravnog kružnog udarca nogom s osvrtom na ozljede koje mogu nastati zbog grešaka u izvođenju;
- Izvršiti biomehaničku analizu tehnike ispravnog i neispravnog izvođenja kružnog udarca nogom;
- Iz provedene analize izlučiti vodilje za učenje i ocjenu tehnike izvođenja kružnog udarca nogom;
- Raspraviti utvrđene spoznaje za prevenciju od ozljeda i uvježbavanje ispravne tehnike.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: Datum predaje rada: Predviđeni datumi obrane:
26. rujna 2024. 28. studeni 2024. 5., 6. i 9.12.2024.

Zadatak zadao: Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić
Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. PRAVILNA TEHNIKA KRUŽNOG UDARCA.....	2
3. OZLJEDE ZBOG GREŠAKA U IZVOĐENJU	4
3.1. Koljeno.....	4
3.1.1. Raspon pokreta koljena	4
3.1.2. Ozljede koljena	7
3.2. Usporedba koljena i kuka.....	9
4. METODOLOGIJA	12
4.1. Oprema.....	12
4.1.1. Perception Neuron 2.0	12
4.1.2. Biomechanics of Bodies	18
4.2. Provedba mjerenja.....	19
4.2.1. Kriterij određivanja pravilnog izvođenja kružnog udarca	21
4.2.1.1. Ispravni pokret	21
4.2.1.2. Neispravni pokret.....	22
5. MJERENJA	23
5.1. Analiza dobivenih podataka.....	23
5.1.1. Kut zakreta kuka	24
5.1.1.1. Desna noga.....	24
5.1.1.2. Lijeve noga.....	28
5.1.2. Pozicija koljena udarajuće noge.....	30
5.1.2.1. Desna noga.....	30
5.1.2.2. Lijeve noga.....	33
5.1.3. Pozicija zdjelice	36
5.1.3.1. Desna noga.....	36
5.1.3.2. Lijeve noga.....	40
5.1.4. Pozicija težišta	42
5.1.4.1. Desna noga.....	42
5.1.4.2. Lijeve noga.....	43
5.1.5. Aktivnost unutarnjeg kosog trbušnog mišića.....	45
5.1.5.1. Desna noga.....	45
5.1.5.2. Lijeve noga.....	46
6. SPOZNAJE O UTJECAJU NA TEHNIKU I OZLJEDE.....	48
6.1. Vodilje za učenje i ocjenu tehnike kružnog udarca	48
6.2. Povezanost s ozljedama	52
7. ZAKLJUČAK.....	54

LITERATURA..... 56

POPIS SLIKA

Slika 1 Pravilna tehnika kružnog udarca [6]	2
Slika 2 Kružni udarac [7]	3
Slika 3 Ligamenti koljena [9].....	4
Slika 4 Ravnine ljudskog tijela [10].....	5
Slika 5 Raspon pokreta koljena [13]	6
Slika 6 Ozljeda prednjeg križnog ligamenta [16].....	7
Slika 7 Ozljeda meniska [19]	8
Slika 8 Raspon pokreta kuka [21]	9
Slika 9 Ligamenti s vanjske strane zgloba kuka [23].....	10
Slika 10 Ligamenti s unutarnje strane zgloba kuka [23].....	10
Slika 11 Perception Neuron 2.0 [25].....	12
Slika 12 Kutija s 32 senzora	13
Slika 13 Jedan senzor	14
Slika 14 Remenje za trup	15
Slika 15 Remenje za ramena	15
Slika 16 Remen za nogu.....	16
Slika 17 Kalibracija pomoću četiri poze [27].....	17
Slika 18 Kalibrirani model čovjeka [27]	18
Slika 19 3D model čovjeka pri trčanju [29]	19
Slika 20 Položaj senzora na tijelu [25].....	21
Slika 21 Položaj tijela u koordinatnom sustavu xyz pri udaranju: a) desnom nogom, b) lijevom nogom.....	24
Slika 22 Desna noga – kut zakreta desnog kuka	25
Slika 23 Desna noga – usporedba kutova zakreta fleksije-ekstenzije	26
Slika 24 Desna noga – usporedba kutova zakreta abdukcije-adukcije.....	27
Slika 25 Desna noga – usporedba kutova zakreta unutarnje-vanjske rotacije	27
Slika 26 Lijeva noga – kut zakreta lijevog kuka	28
Slika 27 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta fleksije-ekstenzije.....	29
Slika 28 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta abdukcije-adukcije	29
Slika 29 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta unutarnje-vanjske rotacije	30
Slika 30 Pozicija desnog koljena u xy-ravnini	31
Slika 31 Pozicija desnog koljena u xz-ravnini	31
Slika 32 Putanja koljena desne noge u xy-ravnini	32
Slika 33 Putanja koljena desne noge u xz-ravnini.....	33
Slika 34 Pozicija lijevog koljena u xy-ravnini	34
Slika 35 Pozicija lijevog koljena u xz-ravnini	34
Slika 36 Putanja koljena lijeve noge u xy-ravnini.....	35
Slika 37 Putanja koljena lijeve noge u xz-ravnini.....	36
Slika 38 Desna noga – pozicija zdjelice u vremenu	37
Slika 39 Desna noga – pozicija zdjelice u xy-ravnini	38
Slika 40 Desna noga – pozicija zdjelice u xz-ravnini	38
Slika 41 Razlike u pomaku zdjelice i koljena	39
Slika 42 Lijeva noga – pozicija zdjelice u vremenu.....	40
Slika 43 Lijeva noga – pozicija zdjelice u xy-ravnini	41
Slika 44 Lijeva noga – pozicija zdjelice u xz-ravnini	41
Slika 45 Desna noga – pozicija zdjelice i težišta u xy-ravnini.....	42
Slika 46 Desna noga – pozicija zdjelice i težišta u xz-ravnini	43
Slika 47 Lijeva noga – pozicija zdjelice i težišta u xy-ravnini.....	44

Slika 48 Lijeva noga – pozicija zdjelice i težišta u xz-ravnini.....	44
Slika 49 Unutarnji kosi trbušni mišić [30]	45
Slika 50 Sila desnog unutarnjeg kosog trbušnog mišića	46
Slika 51 Sila lijevog unutarnjeg kosog trbušnog mišića	47
Slika 52 Krajnji položaj zdjelice - nepravilni udarac	49
Slika 53 Krajnji položaj zdjelice - pravilni udarac.....	50
Slika 54 Oslonac: a) u početnom stavu, b) pri udaranju	51

SAŽETAK

Cilj ovoga rada biomehnička je analiza ispravne i neispravne tehnike kružnog udarca u taekwondou kako bi se utvrdili rizici za nastajanje ozljeda u svrhu njihove prevencije. Izabran je kružni udarac zato što je najčešće izvođen udarac u ovoj borilačkoj vještini. Analiza je provedena korištenjem sustava za snimanje pokreta *Perception Neuron 2.0* te programa *Biomechanics of Bodies* za obradu dobivenih podataka.

Najprije je pružen uvid u pravilnu tehniku te ozljede koljena koje mogu nastati ako se ona dosljedno ne provodi.

Pokret definiran kao ispravan temeljen je na pravilnoj tehnici kružnog udarca, dok je kod nepravilnog pokreta izostavljen element zakreta stojeće noge. Kretnja se izvodila dva puta nepravilno pa dva puta pravilno, prvo desnom, a potom i lijevom nogom.

Dobiveni rezultati ukazuju da pravilno izvođenje uključuje rotaciju stojeće noge, rotaciju zdjelice i zakret kukova, pravilnu putanju udarajuće noge, aktivaciju unutarnjeg kosog trbušnog mišića te promjenu položaja težišta tijela. Nepravilno izvođenje, s druge strane, dovodi do ograničene pokretljivosti udarajuće noge i zdjelice te smanjene aktivacije unutarnjeg kosog trbušnog mišića. Također, mijenjaju se uvjeti ravnoteže i stabilnosti tijela.

Greške u izvođenju stvaraju mehanizme nastanka ozljeda, bilo da je riječ o ponavljajućim mikrotraumama kroz dulje vrijeme ili kratkoročnom preopterećenju. Provedena analiza ističe važnost pravilne tehnike u sprječavanju ozljeda, posebno ligamenata koljena. Rezultati su u skladu sa smjernicama za učenje i mogu potvrditi međuovisnost svih elemenata kretnje.

Ovo istraživanje može pružiti korisne informacije trenerima i sportašima u sklopu treninga i procesa učenja.

Ključne riječi: taekwondo, biomehanika, kružni udarac, prevencija ozljeda, sustav za snimanje pokreta

SUMMARY

The goal of this paper is a biomechanical analysis of correct and incorrect techniques of the roundhouse kick in taekwondo in order to determine the risks of injuries for the purpose of their prevention. The roundhouse kick was chosen because it is the most commonly executed kick in this martial art. The analysis was performed using the *Perception Neuron 2.0* motion capture system and the *Biomechanics of Bodies* software for data processing.

Firstly, an overview of the correct technique and knee injuries that can occur if it is not consistently performed is provided.

The movement defined as correct is based on the proper technique of the roundhouse kick, while in the case of incorrect movement, the element of turning the standing leg is omitted. The movement was performed twice incorrectly and then twice correctly, first with the right leg and then with the left leg.

The obtained results indicate that correct execution involves rotation of the standing leg, rotation of the pelvis and rotation of the hips, correct trajectory of the kicking leg, activation of the internal abdominal oblique muscle, and a change in the position of the body's center of gravity. Incorrect execution, on the other hand, leads to limited mobility of the kicking leg and pelvis and reduced activation of the internal abdominal oblique muscle. Additionally, the conditions of balance and stability of the body are altered.

Errors in execution create mechanisms of injury, whether it's repetitive microtrauma over a longer period of time or short-term overload. The analysis highlights the importance of proper technique in preventing injuries, especially of the knee ligaments. The results are in line with the learning guidelines and can confirm the interdependence between all the elements of the movement.

This analysis can provide useful information to coaches and athletes as a part of the training and learning process.

Key words: taekwondo, biomechanics, roundhouse kick, injury prevention, motion capture

1. UVOD

Kružni udarac jedan je od najkorištenijih udaraca u taekwondou kako u borbama tako i u tehnikama samoobrane, razbijanja daski, polaganjima i demonstracijama [1,2]. Također, najbrži je udarac što ga čini vrlo korisnim u natjecanjima jer omogućava brzu prilagodbu i reakciju na protivnikov napad što također doprinosi njegovoj učestalosti korištenja [2].

Unatoč karakteristikama i zastupljenosti ovoga udarca u taekwondou te raznim istraživanjima, i dalje nedostaje analiza i podataka o sveobuhvatnoj funkciji dijelova tijela koji sudjeluju u njegovom izvođenju. Važno je istražiti i analizirati doprinos svakog dijela tijela koje sudjeluje u kretnji kako bi se razumio njihov utjecaj na izvedbu i učenje pravilne tehnike udarca [2].

70% udaraca u taekwondou izvodi se nožnim tehnikama što ukazuje i na to da se većina ozljeda u ovome sportu odnosi na donje ekstremitete [3,4]. Osim kontaktnih, dolazi i do mehaničkih ozljeda kao što su ozljede koljena koje su jedne od najčešćih ozljeda u taekwondou [3,5].

U ovome radu bit će provedena biomehanička analiza kružnog udarca stražnjom nogom iz stava s ciljem stjecanja uvida u mogućnosti prevencije ozljeda primjenom smjernica za učenje i usavršavanje tehnika. Fokus analize identificiranje je čimbenika koji dovode do ozljeda i objašnjenje utjecaja pojedinih elemenata na izvođenje ispravne tehnike.

2. PRAVILNA TEHNIKA KRUŽNOG UDARCA

Prije same analize udarca potrebno je definirati pravilnu tehniku kružnog udarca, odnosno postaviti teorijske osnove kojih se treba držati prilikom učenja i daljnje izvedbe. Svaki element udarca treba biti savladan kako bi se u konačnici cijeli pokret smatrao ispravnim.

Pravilan kružni udarac u taekwondou zadnjom nogom iz stava, koji će biti analiziran u ovom radu, može se promatrati kroz tri faze kako je i prikazano na Slici 1.



Slika 1 Pravilna tehnika kružnog udarca [6]

Iz početnog stava, u prvoj fazi, noga kojom se udara savija se u koljenu i podiže do željene visine – u ovom slučaju visine tijela. Istovremeno se noga koja ostaje na tlu zakreće na prednjem dijelu stopala (vanjska rotacija kuka) do položaja u kojem prsti gledaju u suprotnom smjeru od cilja. Trup se također zakreće održavajući ravnotežu [6].

Slijedi druga faza, faza zadavanja udarca. Kada su koljeno udarajuće noge i peta stojeće noge u istoj ravnini te su usmjereni prema cilju, kružni pokret nastavlja se brzom ekstenzijom i fleksijom potkoljenice udarajuće noge. Sam udarac zadaje se gornjim dijelom stopala [6].

Nakon uspješnog pogađanja mete, noga se vraća istim putem u početni stav što čini treću fazu [6].

Na Slici 2 prikazan je kružni udarac.



Slika 2 Kružni udarac [7]

U ovom radu spomenuta prva faza bit će pobliže promatrana i podijeljena na dva dijela jer je u jednom trenutku pri podizanju noge potrebno uključiti i zakret kuka noge koja ostaje na tlu što je bitan element koji definira pravilno izvođenje.

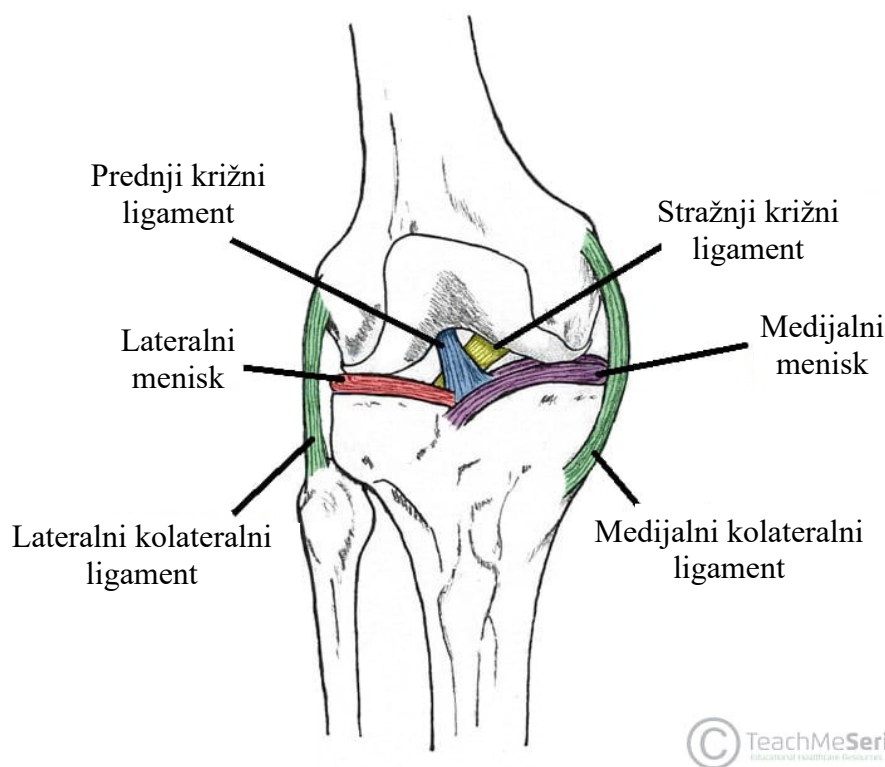
Ako se prethodno opisana tehnika ne izvede pravilno prema navedenim fazama, može doći do ozljeda.

3. OZLJEDE ZBOG GREŠAKA U IZVOĐENJU

Greška u izvođenju koja će se razmatrati u ovome radu događa se već u prvoj fazi udarca u trenutku kada je stojeću nogu potrebno zakrenuti u zglobu kuka. Ne zakrene li se ona pravovremeno, cijeli moment trupa prenosi se na koljeno.

3.1. Koljeno

Koljeno je kritično mjesto zbog njegove anatomije. Kosti zgloba koljena ne pružaju mu stabilnost, već to čine meka tkiva koja ga okružuju – križni ligamenti, kolateralni ligamenti i menisci (Slika 3) [8]. Izvede li se neki pokret kojeg anatomija koljena ne dozvoljava, uz to što se udarac neće moći prema pravilima realizirati do kraja, otvara se mogućnost i težih povreda okolnih struktura ovog zgloba.



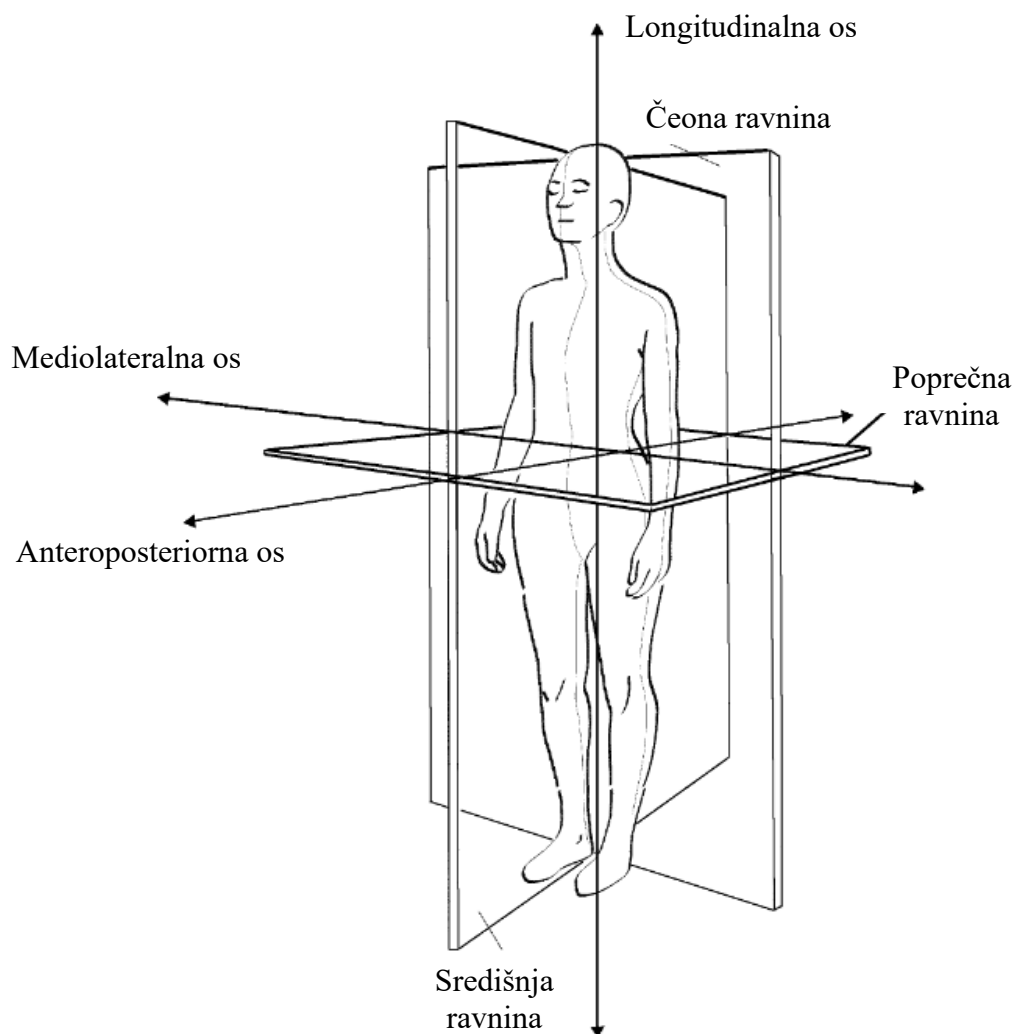
Slika 3 Ligamenti koljena [9]

3.1.1. Raspon pokreta koljena

U anatomiji postoje tri ravnine ljudskog tijela koje pomažu u opisivanju i vizualizaciji kretnji [10]:

- Središnja (medijalna ili sagitalna)
- Čeona (frontalna ili koronarna)
- Poprečna (vodoravna ili transverzalna).

Na Slici 4 mogu se vidjeti ravnine ljudskog tijela.



Slika 4 Ravnine ljudskog tijela [10]

Raspon pokreta zgloba koljena, koje u ovom slučaju ograničava kretanju, sastoji se od tri rotacije i tri translacije. Iako ima 6 stupnjeva slobode gibanja, primarna uloga koljena je rotacija u središnjoj ravnini, odnosno fleksija i ekstenzija [11].

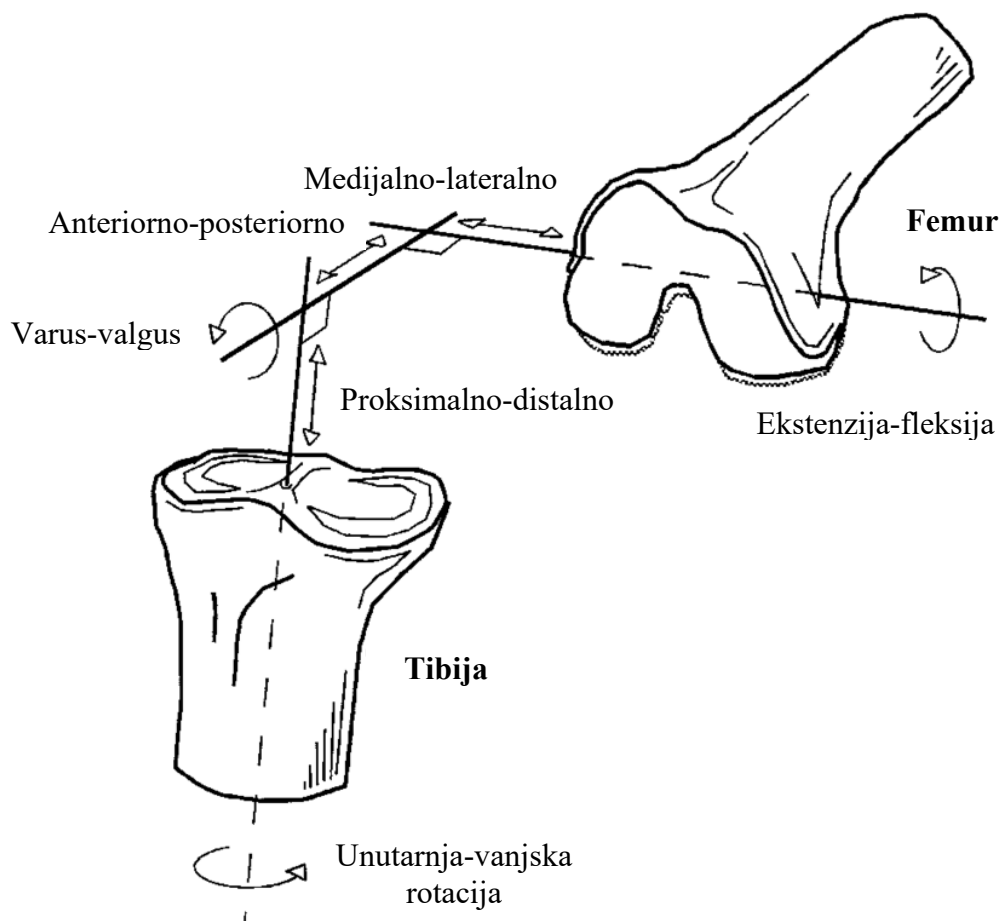
Od rotacija, u središnjoj ravnini koljeno u fleksiji može se saviti do 140 ili 155 stupnjeva, a u ekstenziji ispružiti od 3 do 15 stupnjeva. Varus-valgus u čeonoj ravnini kreću se od 6 do 8 stupnjeva kada je koljeno u ekstenziji. U poprečnoj ravnini mogućnost unutarnje i vanjske rotacije koljena u fleksiji iznosi od 25 do 30 stupnjeva [11,12].

Osim rotacija, zglob koljena ima i mogućnosti translacija. Mogući anteriorno-posteriorni pomak tibije u odnosu na femur iznosi od 5 do 10 milimetara dok pomak u medijalno-lateralnom smjeru iznosi od 1 do 2 milimetra. Patelarni pritisak uzrokovan silama kvadricepsa

prilikom savijanja i pružanja koljena uzrokuje klizanje patele i njezin proksimalno-distalni pomak u iznosu od 2 do 5 milimetara [11].

Navedeni iznosi raspona pokreta razlikuju se od osobe do osobe zbog anatomskih razlika, prethodnih ozljeda, fleksibilnosti itd.

Na Slici 5 prikazani su svi navedeni smjerovi pomaka i rotacija u zglobu koljena..



Slika 5 Raspon pokreta koljena [13]

Iako se u početku nije smatralo da sekundarne translacije i rotacije imaju značajnu ulogu u uzrocima ozljeda prenaprežanja koljena, napretkom tehnologije, istraživanja biomehanike u sportu počela su se fokusirati na takve pomake. Bez obzira što su sekundarni pomaci znatno manji od fleksije i ekstenzije, nisu zanemarivi. Njihov utjecaj može se nakupljati tijekom duljeg vremenskog razdoblja, a učinci mogu pridonijeti ozljedama [8].

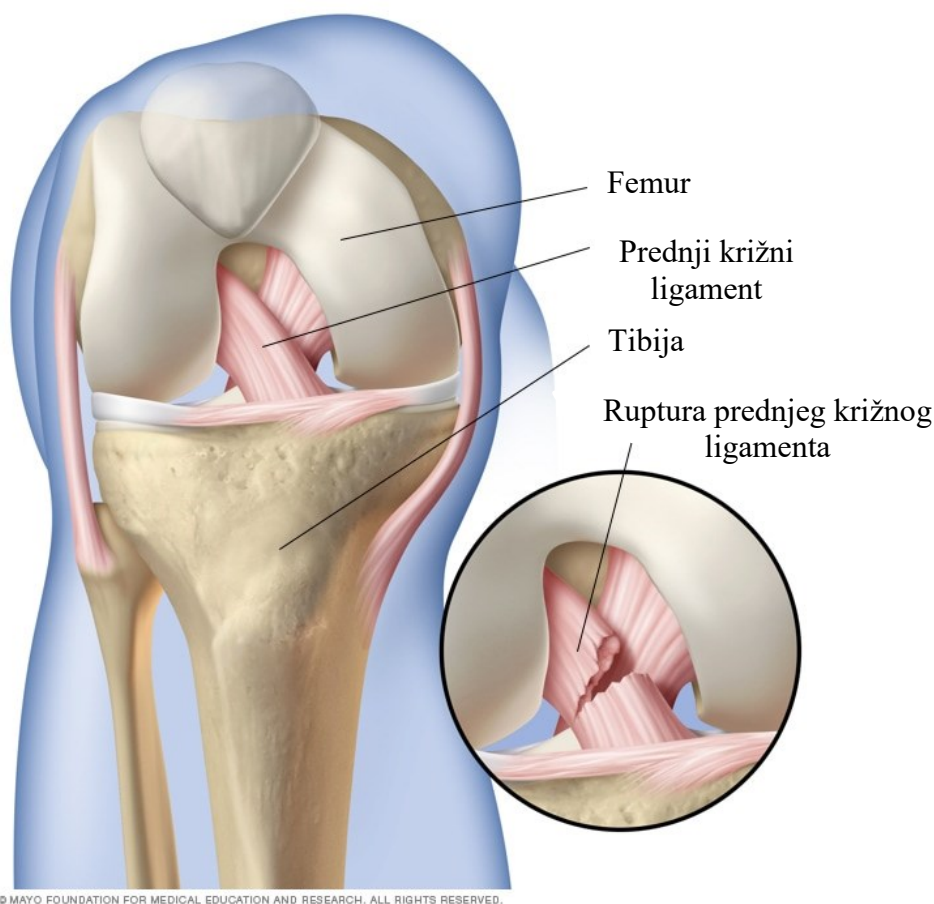
Iz raspona pokreta, vidljivo je da koljeno ne podnosi velike rotacije u poprečnoj ravnini, tj. da su u potpunoj ekstenziji dopuštena unutarnja i vanjska rotacija minimalne [14]. Budući da se pri promatranom udarcu može dogoditi upravo takvo opterećenje koljena – rotacija u poprečnoj ravnini, postoji rizik od ozljede struktura koje ograničavaju navedenu kretnju.

3.1.2. Ozljede koljena

Gledamo li udarac desnom nogom, femur lijeve noge zakretat će se prema vani dok će se tibija zakretati prema unutra što opterećuje prednji križni ligament jer je jedna od njegovih uloga sprječavanje rotacije koljena [8].

Prednji križni ligament se u literaturi navodi kao ligament koljena koji se najčešće ozljeđuje kod sportaša beskontaktno. Do beskontaktnih ozljeda ovoga ligamenta dolazi kada sila koja nastaje u zglobu zbog krivog pokreta premaši vlačnu čvrstoću ligamenta. Pokreti koji uzrokuju takvu ozljedu kod prednjeg križnog ligamenta su unutarnja rotacija i prednja translacija tibije [8]. Unutarnja rotacija tibije značajno opterećuje prednji križni ligament pri malim kutovima fleksije (od 0 do 30 stupnjeva), što je upravo slučaj kod pokreta analiziranog u ovome radu [15].

Na Slici 6 prikazana je ozljeda prednjeg križnog ligamenta.

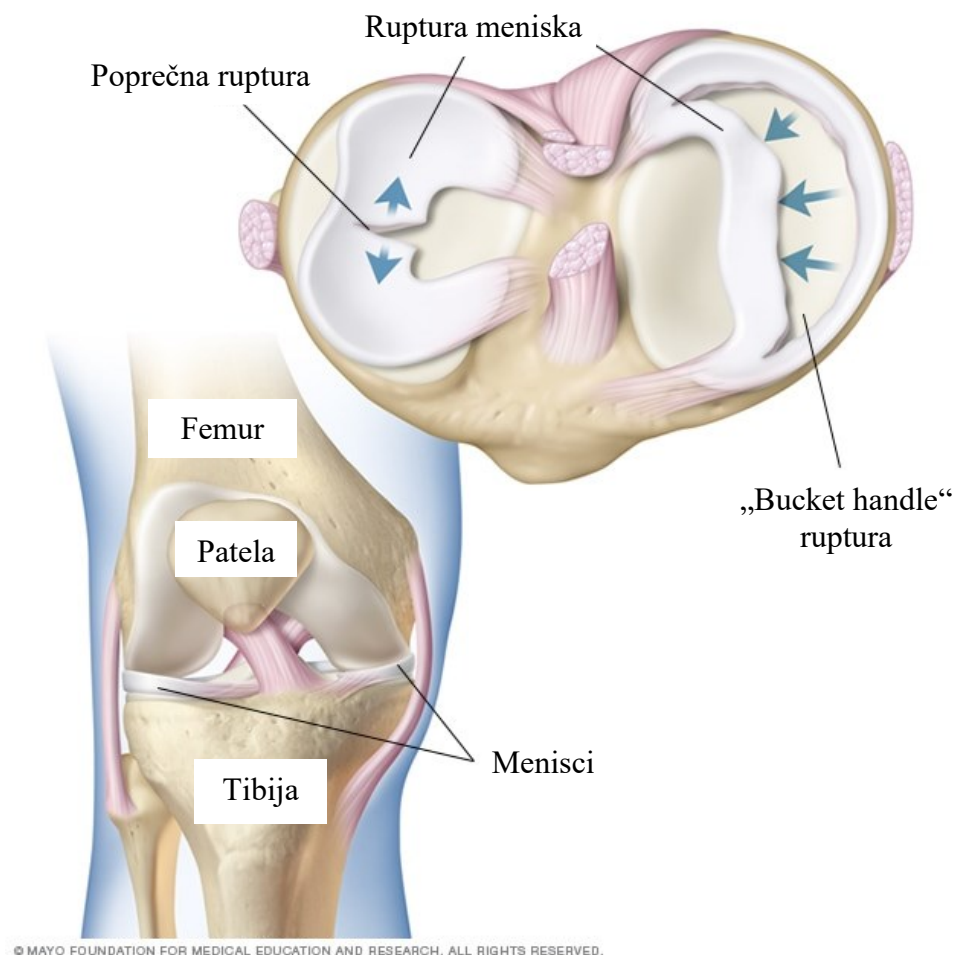


Slika 6 Ozljeda prednjeg križnog ligamenta [16]

Opisana rotacija zgloba koljena može imati posljedice i na meniske. Prema navodima u literaturi, česti uzrok ozljeda meniska rotacija je zgloba koljena u poprečnoj ravnini dok istovremeno stopalo ostaje fiksirano na tlu [17]. Ove strukture pomoću svojeg konkavnog

oblika stabiliziraju zglob i ograničavaju pomicanje koljena u svim smjerovima [18,17]. Zbog toga se trenjem unutar zgloba uzrokovanim neprirodnim pokretima i mogu oštetiti.

Na Slici 7 prikazana je ozljeda meniska.



Slika 7 Ozljeda meniska [19]

Ligamente može dodatno opterećivati blaga fleksija koljena zbog, primjerice, dinamičnog borbenog stava ili pri odrazu dok se podiže udarna noga. Mišići stražnje strane natkoljenice stvaraju smičnu silu u zglobu povlačeći tibiju prema natrag što ih čini agonistima prednjeg križnog, a antagonistima stražnjeg križnog ligamenta [14,20]. Budući da stražnji križni ligament zaustavlja translaciju tibije prema natrag ovo ga u startu opterećuje i dovodi u nepovoljan položaj [8]. Istraživanjima je pokazano kako ozljede prednjeg križnog ligamenta najčešće nastaju pri 30 stupnjeva kuta fleksije jer su tada oba snopa ovoga ligamenta u opuštenom stanju [14].

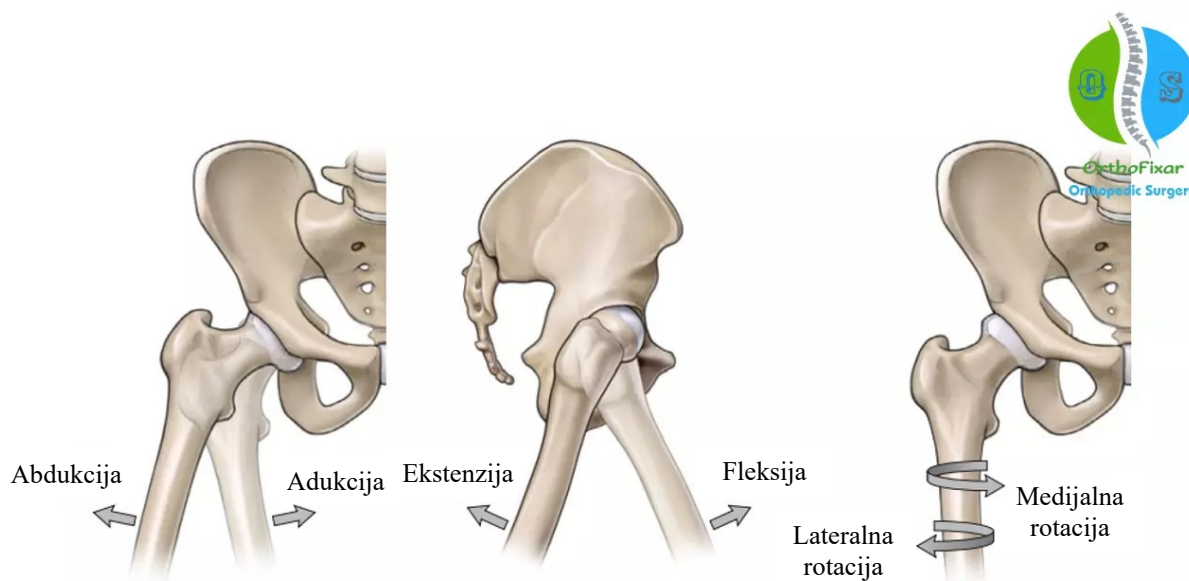
Kombinacija smika i uvijanja kojoj je izloženo koljeno predstavlja povećanu opasnost od ozljeda navedenih ligamenata.

Ligamenti i menisci, uz oblik kostiju koljena, određuju njegov raspon pokreta. Ako ga usporedimo s rasponom pokreta kuka, koji ima ključnu ulogu u navedenoj kretnji, možemo uvidjeti razlike koje bitno utječu na izdržljivost zgloba.

3.2. Usporedba koljena i kuka

Kuglasti oblik zgloba kuka omogućuje širok raspon pokreta. U središnjoj ravnini fleksija obično iznosi od 110 do 120 stupnjeva, a ekstenzija od 10 do 15 stupnjeva. U čeonj, abdukcija iznosi od 30 do 50 stupnjeva dok adukcija od 25 do 30 stupnjeva. Unutarnja rotacija u poprečnoj ravnini iznosi od 30 do 40 stupnjeva, a vanjska rotacija od 40 do 60 stupnjeva [21].

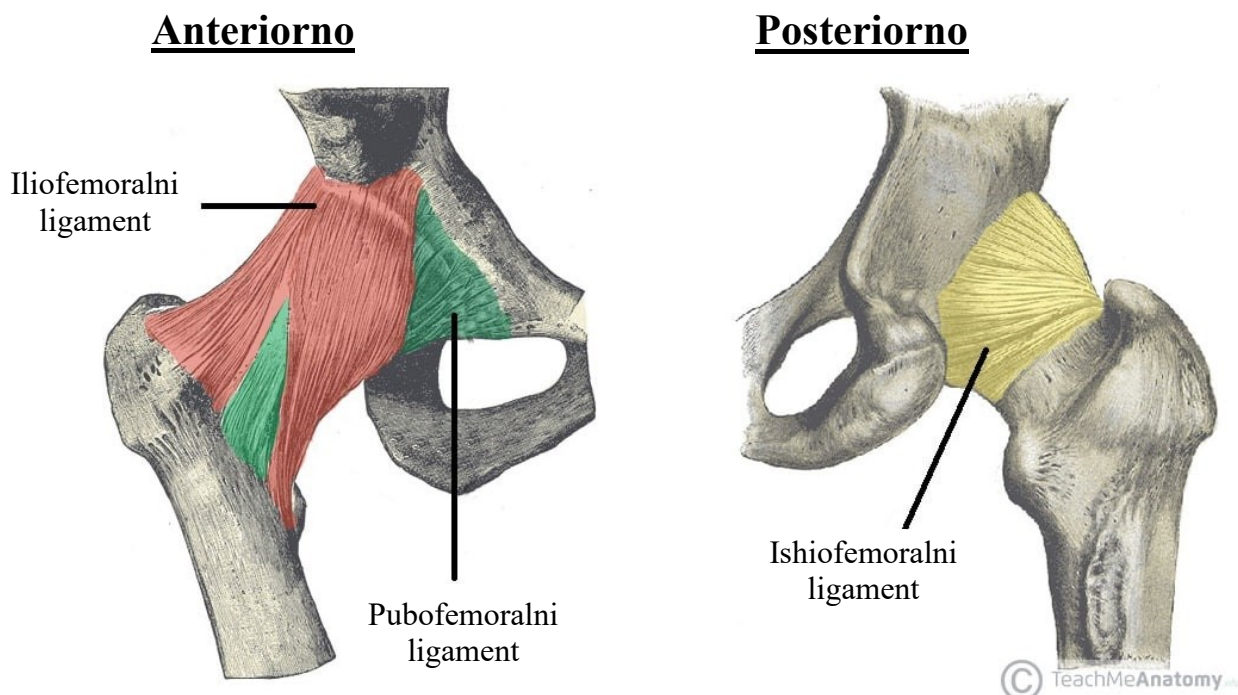
Na Slici 8 prikazan je raspon pokreta kuka.



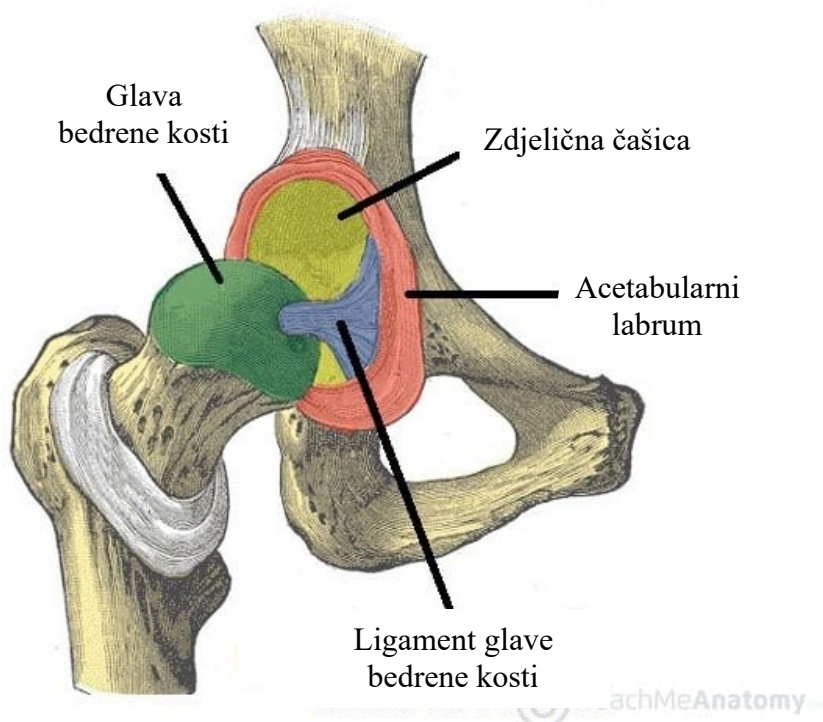
ORTHOFIXAR.COM

Slika 8 Raspon pokreta kuka [21]

Uz svoju kuglastu građu koja mu omogućava veći raspon pokreta, kuk je okružen i ligamentima i snažnim mišićima koji ga stabiliziraju što umanjuje mogućnost krivog pokreta, a time i ozljeda. Ligamenti koji ga pridržavaju nalaze se s vanjske (Slika 9), ali i unutarnje strane kuglastog zgloba (Slika 10). Vrijedi istaknuti kako je iliofemoralni ligament, sveza između bedrene i bočne kosti zdjelice, najjača sveza čovjekova tijela [22]. Kuk je najpokretljiviji zglob donjih ekstremiteta. Zbog svega navedenog kuk se, u usporedbi s koljenom, neće lako dislocirati [8].



Slika 9 Ligamenti s vanjske strane zgloba kuka [23]



Slika 10 Ligamenti s unutarnje strane zgloba kuka [23]

Stoga je u kontekstu kružnog udarca vrlo bitno uočiti kako je kuk taj koji bi trebao preuzeti rotaciju tijela da bi se spriječile ozljede koljena. Pogrešnim pokretom, a onda i pokušajem

kompensacije kako bi se udarac na silu doveo do kraja, neprirodno se opterećuju ligamenti koljena.

Mehanizmi opterećenja ligamenata koljena koji su navedeni u ovom poglavlju tijekom duljeg vremena dovode do upala, a kratkoročnim preopterećenjem u težim slučajevima i ruptura [8].

4. METODOLOGIJA

4.1. Oprema

Za praćenje i snimanje, a potom i analizu pokreta korišten je sustav za snimanje pokreta *Perception Neuron 2.0* te program *Biomechanics of Bodies* za obradu dobivenih podataka. Grafički prikazi izrađeni su pomoću programa *Microsoft Excel*. Sva mjerenja provedena su na Katedri za biomehaniku i ergonomiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu koja posjeduje sve potrebne licence i certifikate za programe i opremu koji su korišteni u ovome radu.

4.1.1. *Perception Neuron 2.0*

Perception Neuron uređaj je koji se razvija posljednjih 10-ak godina. Riječ je o proizvodu kineske tvrtke Noitom Ltd. koja s timom stručnjaka razvija tehnologiju snimanja pokreta za različite primjene – razvoj videoigara, vizualnih efekata, virtualne stvarnosti, animacije, istraživanja u biomehanici i medicini itd. [24]. Za potrebe ovoga rada korištena je verzija *Perception Neuron 2.0* prikazana na Slici 11.



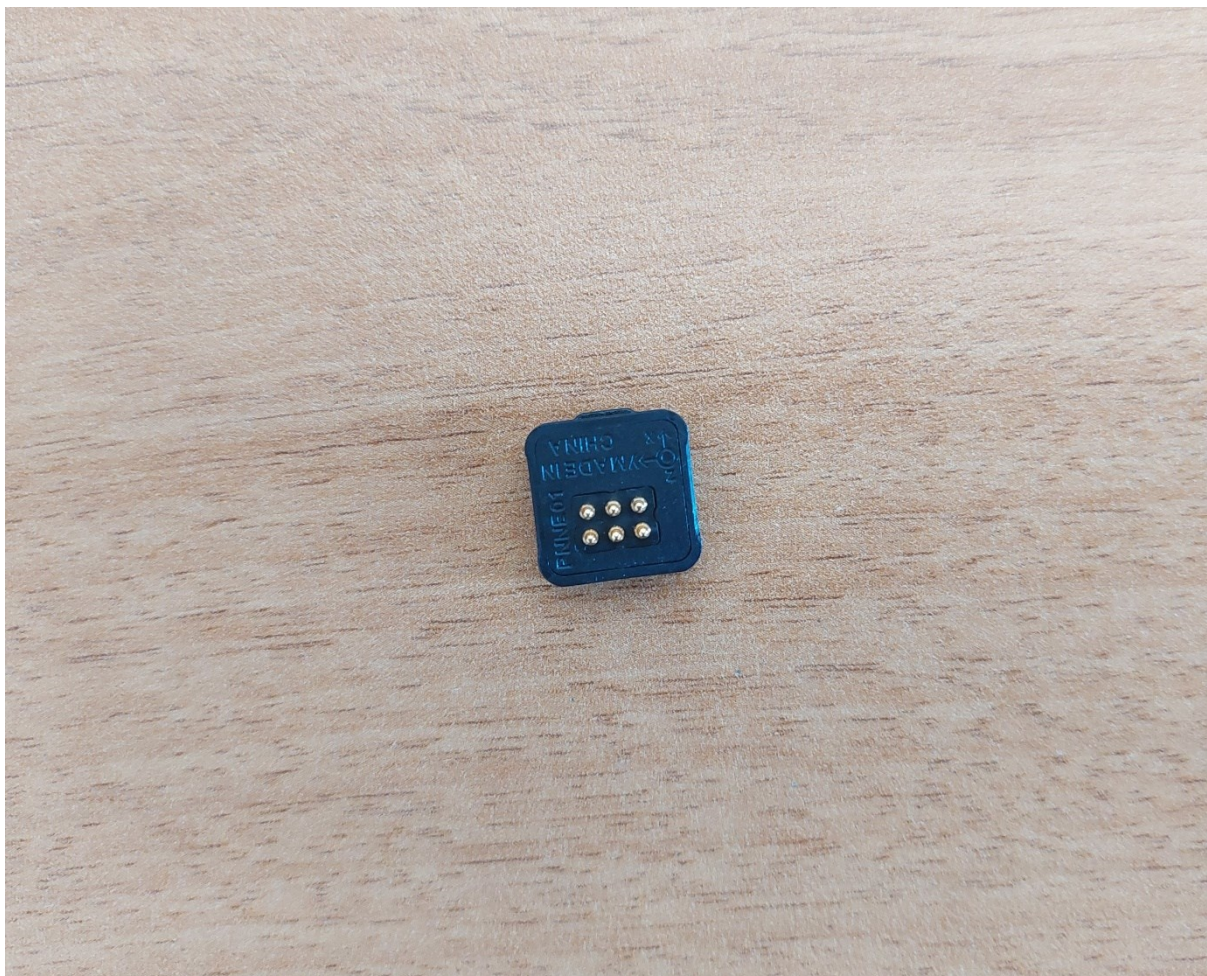
Slika 11 Perception Neuron 2.0 [25]

Korišteni uređaj sastoji se od 32 inercijske mjerne jedinice (engl. *Inertial Measurement Units – IMUs*), odnosno 32 senzora – Neurona (Slika 12). Svaka jedinica sastoji se od giroskopa, akcelerometra i magnetometra koji služe za precizno snimanje i bilježenje različitih pokreta tijela. Frekvencija uzorkovanja ovoga uređaja iznosi 60 Hz [26].



Slika 12 Kutija s 32 senzora

Na Slici 13 prikazan je jedan senzor koji se umeće u kućište na remenju.



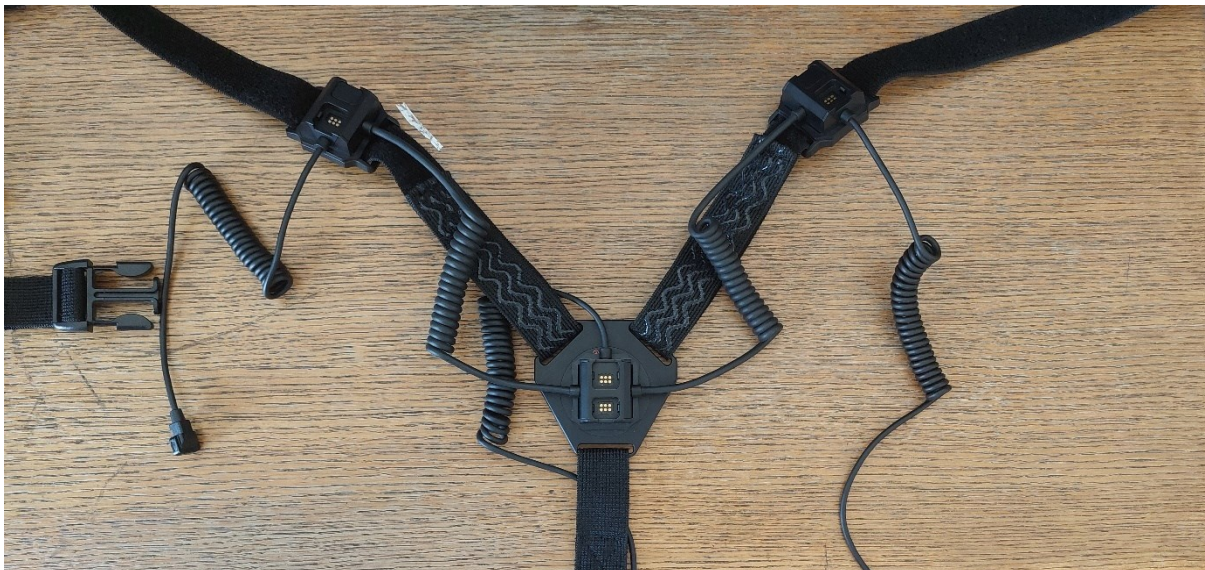
Slika 13 Jedan senzor

Uz navedene glavne dijelove – senzore, sustav za snimanje pokreta *Perception Neuron 2.0* čini i set remenja pomoću kojih se senzori postavljaju na tijelo – za glavu, trup, ruke i noge, dok se za šake koriste rukavice koje omogućuju postavljanje senzora i na prste.

Na Slici 14 i Slici 15 prikazano je remenje za senzore za trup i ramena, a na Slici 16 može se vidjeti primjer remena za nogu.



Slika 14 Remenje za trup



Slika 15 Remenje za ramena



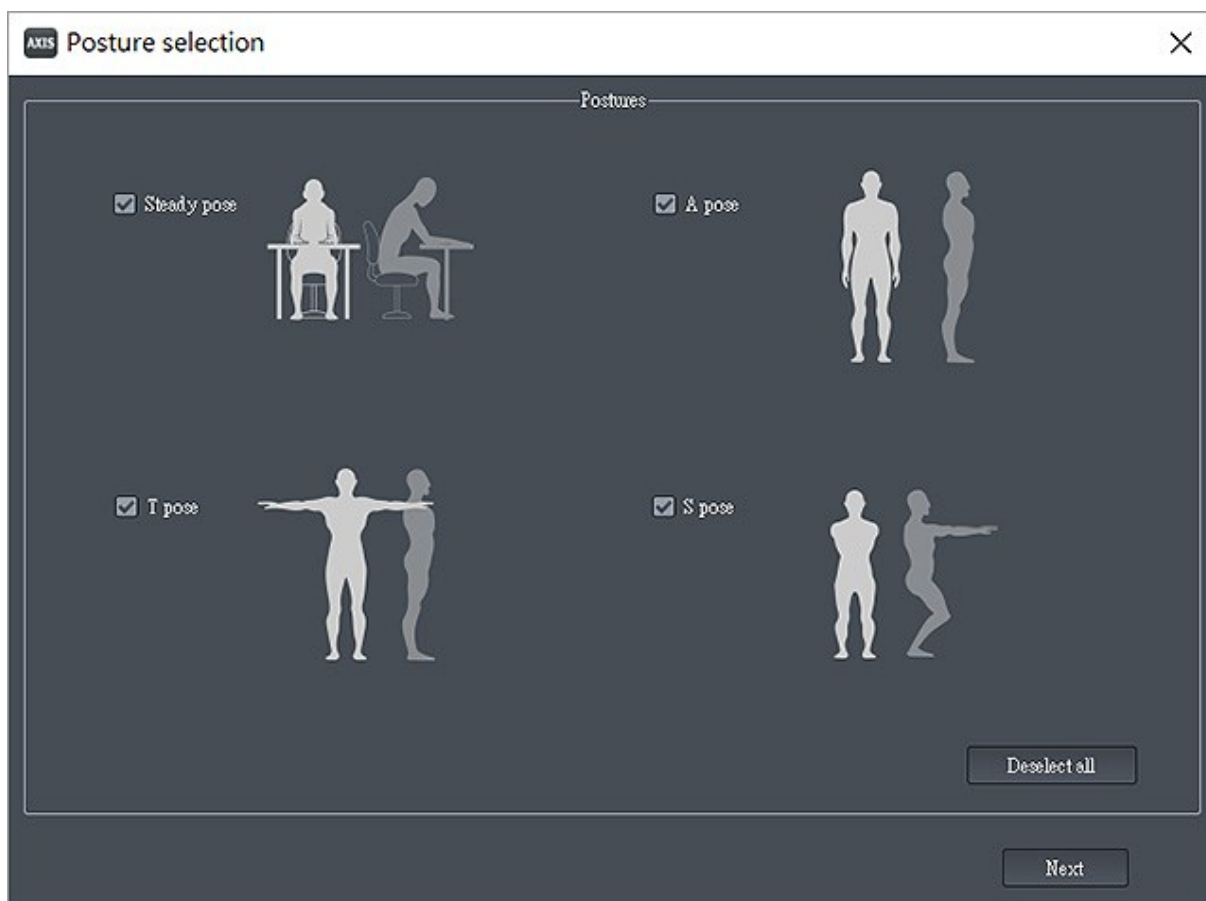
Slika 16 Remen za nogu

Kako bi se omogućila komunikacija i prijenos podataka između senzora, senzori se povezuju kabelima.

Povezivanje uređaja s računalom ostvaruje se pomoću koncentratora (engl. *hub*). Uređaj se s koncentradorom može spojiti bežično ili pomoću USB kabela. Oprema sadrži i dodatnu univerzalnu utičnicu za senzor.

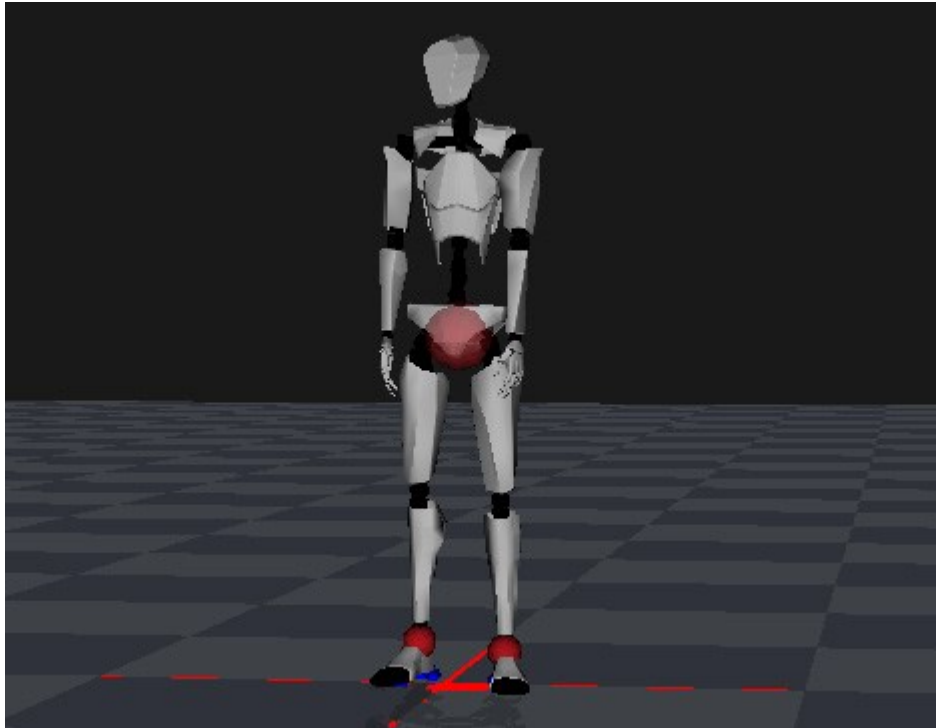
Ovaj sustav za snimanje pokreta koristi softver *Axis Neuron* koji mu, između ostaloga, omogućava izvoz zabilježenih podataka za druge programe kao što je *Biomechanics of Bodies* – program za analizu biomehanike pokreta korišten u ovom radu.

Prvi korak u korištenju uređaja *Perception Neuron* postavljanje je čičak-remenja sa senzorima na ispravne pozicije na tijelu. Potom se uređaj povezuje s računalom pomoću softvera *Axis Neuron*. Prije snimanja pokreta, pomoću navedenog softvera, potrebno je kalibrirati uređaj na način da izvođač zauzme četiri poze (Slika 17) kako bi se osigurala točnost mjerenja. Softver omogućava izbor više načina rada, odnosno praćenje senzora samo nekih dijelova tijela, pa se tako za potrebe ovog rada snimalo kretanje zdjelice i nogu.



Slika 17 Kalibracija pomoću četiri poze [27]

Na Slici 18 prikazan je kalibrirani 3D model čovjeka u programu *Axis Neuron*.

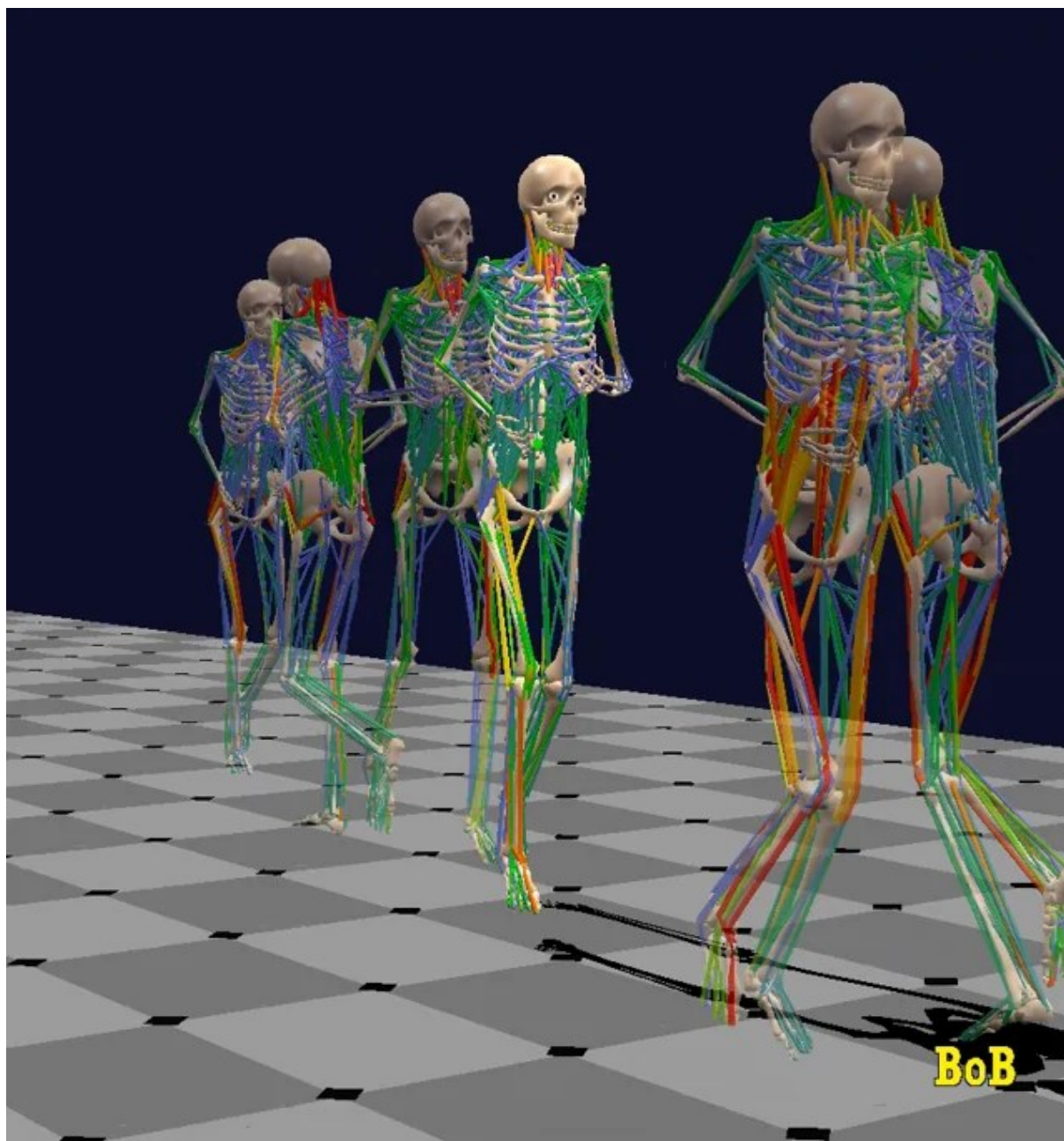


Slika 18 Kalibrirani model čovjeka [27]

4.1.2. *Biomechanics of Bodies*

Program *Biomechanics of Bodies* (skraćeno *BoB*) služi kao alat za analizu snimljenih pokreta. Sadrži model ljudskog tijela s čitavim mišićno-koštanim sustavom. Ovaj program, razvijen pomoću programa *MATLAB*, omogućuje izračun sila u mišićima, opterećenja zglobova te sila reakcije tla kao i izračun putanja kretanja i putanje težišta. Nalazi primjenu u različitim područjima. U sportu služi kao pomoć pri analizi performansi sportaša ili za optimizaciju sportske opreme. Može biti vrlo koristan i pri analizi pokreta u svrhu sprječavanja ozljeda. Također, može pomoći u ergonomskoj analizi u radnom okruženju te prilikom upravljanja vozilom [28].

Na Slici 19 prikazan je 3D model čovjeka pri trčanju u programu *Biomechanics of Bodies*.



Slika 19 3D model čovjeka pri trčanju [29]

4.2. Provedba mjerenja

Mjerenje je provedeno na jednom ispitaniku s ciljem stjecanja uvida u karakteristike i razlike ispravnog i neispravnog pokreta.

Individualne karakteristike izvođača, kao što su iskustvo, fleksibilnost i tjelesna spremnost, nisu bile predmet ovog istraživanja, već isključivo razlike u pravilnoj i nepravilnoj izvedbi i razumijevanje specifičnih pokreta ljudskog tijela, neovisno o tome tko ih izvodi. Pokret koji je

definiran kao nepravilan u ovom radu nije ograničen tjelesnom spremom pojedinca, već ga ograničava sama anatomija ljudskog tijela.

Cilj ove analize nije bila usporedba efikasnosti i razlika među izvođačima, nego utvrđivanje temeljnog obrasca sportske kretnje i utjecaja neispravne kretnje na tijelo izvođača.

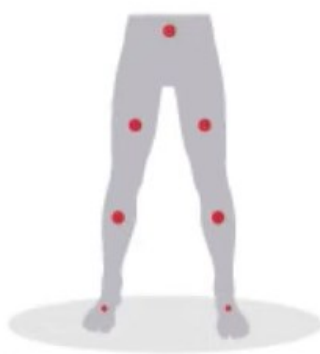
Valja napomenuti da su rezultati analize primjenom sustava *Perception Neuron 2.0* podložni određenim ograničenjima. Preciznost mjerenja i interpretacije pokreta ovisi o karakteristikama senzora i mogućim interferencijama s vanjskim faktorima (npr. metalni predmeti, drugi uređaji u blizini) što može rezultirati odstupanjima u prikupljenim podacima. U sklopu pripreme za analizu važna je i kvalitetna kalibracija. Program za obradu podataka *Biomechanics of Bodies* također ima neka ograničenja kao što su elementi koje program može mjeriti, pokreti zglobova ili aktivacija mišića koje može pratiti. Sve to utječe na kvalitetu dobivenih rezultata.

U ovome radu proučavana je biomehanika kružnog udarca stražnjom nogom iz hodajućeg stava. Za usporedbu ispravne i neispravne tehnike izvedenog udarca korišteno je pet odabranih parametara – kutovi zakreta kukova, pozicija koljena udarajuće noge, pozicija zdjelice, aktivacija kosog trbušnog mišića te pomicanje težišta.

Ključna razlika između pravilnog i nepravilnog udarca definirana je zakretom stojeće noge.

Praćeno je sedam senzora raspoređenih po trupu i obje noge. Položaji senzora na tijelu u načinu rada za donji dio tijela prikazani su na Slici 20. Senzori su postavljeni na gornji dio stopala, na potkoljenice, bedra i zdjelicu izvođača zato što su to ključni dijelovi tijela koji igraju glavnu ulogu u ostvarivanju kretnje. Senzori na tim mjestima omogućavaju praćenje položaja, zakreta i aktivacije odabranih parametara.

Najprije je analiziran udarac desnom, a potom lijevom nogom. U oba slučaja pokret je izveden zaredom prvo dva puta nepravilno pa onda dva puta pravilno.



- 7-NEURON
- HUB
- USB
- BODY STRAPS

Slika 20 Položaj senzora na tijelu [25]

4.2.1. Kriterij određivanja pravilnog izvođenja kružnog udarca

Promatranu kretnju možemo podijeliti na nekoliko dijelova. Početak udarca definiran je od trenutka podizanja udarne noge do trenutka kada se stojeća noga treba početi zakretati. Sljedeća faza je zakretanje stojeće noge uz podizanje udarne noge do visine mete, u ovom slučaju je to udarac u visini trupa. Treća faza bi bila udarac u metu pružanjem potkoljenice koji u ovom slučaju nije promatran. Završetak udarca definiran je kao povratak obje noge u početni stav.

4.2.1.1. Ispravni pokret

Kod pravilnog izvođenja, kako bi se ostvarila kružna putanja udarca, potrebno je iskoristiti raspon pokreta oba kuka. Kuk stojeće noge koristi se za njezino zakretanje, dok kuk udarajuće noge služi za namještanje visine udarca. Pri tome se moment zakreta gornjeg dijela tijela prenosi preko stojeće noge te se stojeća noga rotira na prednjem dijelu stopala.

Pravilan pokret temelji se na definiranoj tehnici iz poglavlja o pravilnoj tehnici kružnog udarca na početku ovoga rada. Izvođač iz početnog stava podiže nogu savijenu u koljenu do željene visine. Pri tome zakreće nogu na tlu. Nakon toga, nogu vraća istim putem u početni stav.

Pokret se izvodio usporeno kako bi se preciznije snimili podatci i prikazale razlike u rasponu pokreta između točne i krive izvedbe. Sila udarca, brzina pokreta i slične karakteristike nisu razmatrane u ovome radu.

4.2.1.2. Neispravni pokret

Kod nepravilnog izvođenja aktivan je samo kuk udarajuće noge dok zbog manjka zakreta kuka stojeće noge stojeća noga ostaje fiksna na tlu. Udarac ne može ostvariti potrebnu kružnu putanju. Sav se moment zakreta gornjeg dijela tijela, generiran okretom iz ramena i udarajućom nogom, prenosi na koljeno stojeće noge te se događa uvijanje.

Za razliku od ispravnog pokreta koji prati definiciju pravilne tehnike, kod neispravnog pokreta izostavlja se jedan važan element. Naime, nakon što na prvi pogled ovakav pokret započne jednako kao i ispravan, u trenutku kada se potrebno zakrenuti na stojećoj nozi, to nije učinjeno. Podignuta noga savijena u koljenu pomiče se maksimalno kako bi pokušala postići uobičajenu putanju te se nakon toga istim putem vraća u početni stav.

Pokret se izvodio usporeno iz istih razloga kao i ispravan pokret.

5. MJERENJA

Koristeći sustav za snimanje pokreta prikupljeni su podatci dobiveni ispravnim i neispravnim izvođenjem tehnike kružnog udarca. U ovome poglavlju prikazat će se i analizirati dobiveni podatci koji će pomoći u povezivanju pravilne tehnike, izvedene kretnje i potencijalnog rizika od ozljeda.

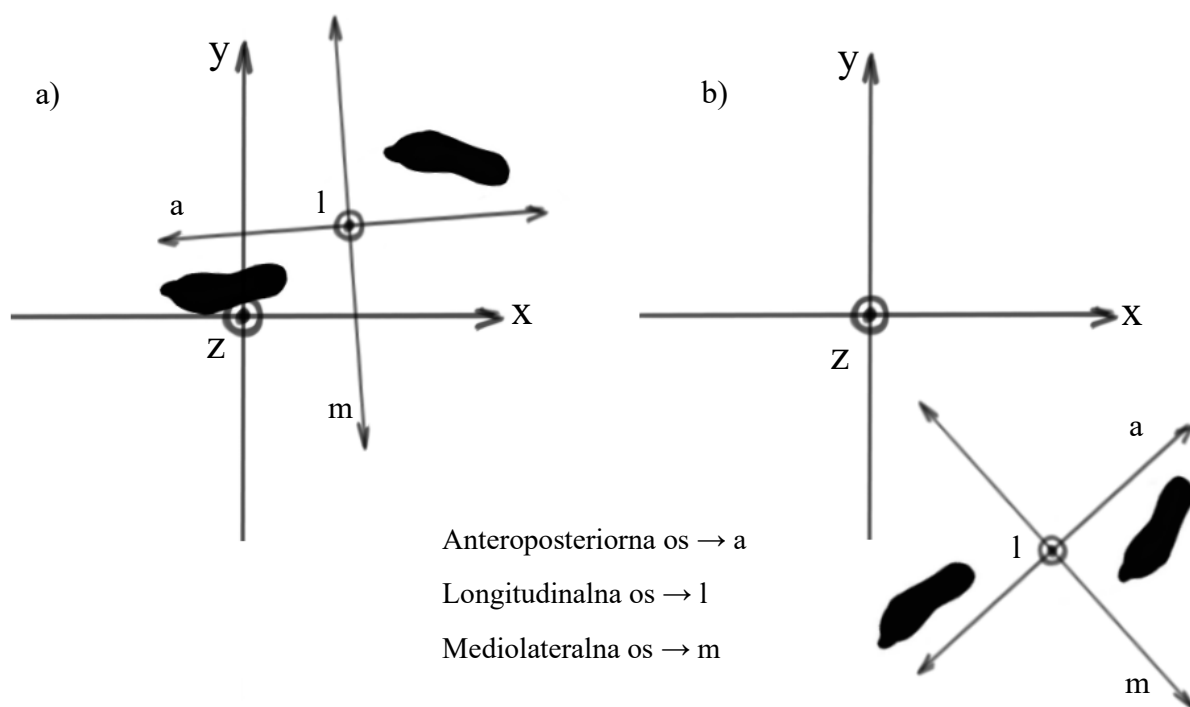
Grafički prikazani podatci istaknut će glavne odrednice kružnog udarca što uključuje kutove zakreta kukova, poziciju koljena udarajuće noge – putanja udarajuće noge, poziciju zdjelice, aktivaciju kosog trbušnog mišića te pomicanje težišta. Usporedbom ispravnog i neispravnog pokreta cilj je utvrditi učestale greške i njihov utjecaj na kvalitetu izvedbe i potencijalni uzrok ozljeda.

5.1. Analiza dobivenih podataka

Prije same analize, potrebno je definirati orijentaciju tijela u xyz koordinatnom sustavu kako bi se lakše mogao pratiti i razumjeti smjer putanja na grafičkim prikazima, pogotovo onih s projekcijama na određene ravnine. Koordinatni sustav xyz postavi se kalibracijom te se nakon toga tijelo, tj. 3D model, može slobodno kretati u prostoru.

Kada se izvodio udarac desnom nogom, tijelo je bilo okrenuto u negativnom smjeru x-osi. Kod udarca lijevom nogom, tijelo je, osim što je okrenuto u negativnom smjeru x-osi, bilo zarotirano u negativnom smjeru y-osi kako je vidljivo na Slici 21. Također, na skici je vidljivo da se tijelo u početnom položaju ne nalazi točno u ishodištu. Uz navedeni koordinatni sustav, naznačene su i tri osnovne osi ljudskog tijela kako bi se lakše vizualizirao položaj.

Osi služe samo kao orijentir. U ovome radu promatran je odnos, tj. razlika između putanja i položaja promatranih elemenata što nije ovisno o položaju koordinatnog sustava u odnosu na tijelo.

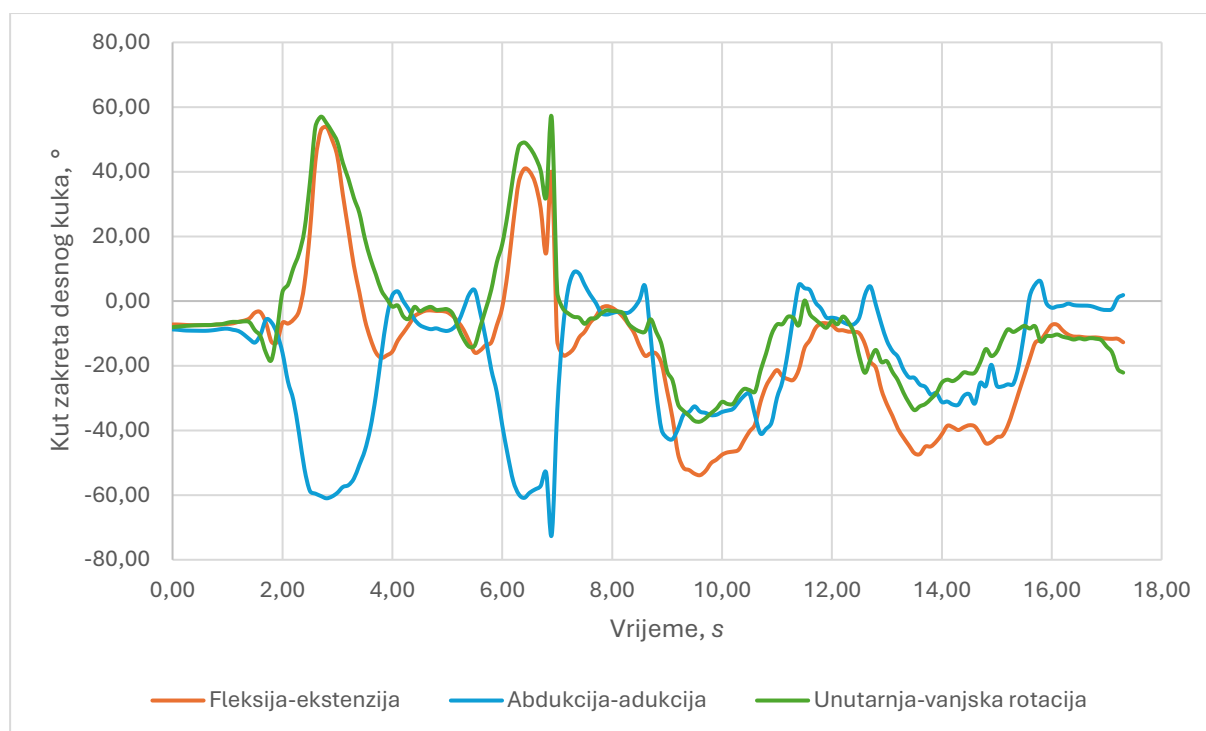


Slika 21 Položaj tijela u koordinatnom sustavu xyz pri udaranju: a) desnom nogom, b) lijevom nogom

5.1.1. Kut zakreta kuka

5.1.1.1. Desna noga

Na Slici 22 grafički je prikazana promjena kuta zakreta desnog kuka u tri ravnine ljudskog tijela pri izvođenju pokreta desnom nogom u vremenu. Od početka mjerenja približno do pet sekundi traje prvi neispravni pokret, slijedi drugi neispravni pokret do osam sekundi, nakon toga je izveden prvi ispravni pokret do dvanaest sekundi te drugi ispravni pokret do kraja mjerenja.



Slika 22 Desna noga – kut zakreta desnog kuka

Iz grafičkog prikaza vidljivo je da narančasta krivulja, koja prikazuje fleksiju i ekstenziju kuka udarne noge, dostiže manje vrijednosti kuta kod primjera nepravilnog izvođenja kružnog udarca. Kod pravilne izvedbe udarca te su vrijednosti veće, odnosno kuk se više zakreće u središnjoj ravnini.

Ovaj rad bavi se samo kretanjem, tj. rasponom pokreta prilikom udarca u zamišljenu metu. Kod pravilnog udarca, kada je noga dosegla željenu visinu, pokret je nastavljen i nakon točke zamišljene mete, a sve kako bi se pokazao što veći raspon pokreta omogućen karakteristikama kuglastog zgloba kuka. Uz to, kuk omogućuje promjenu visine udarca. Kod pravilnog udarca stojeća noga može promijeniti smjer udarca okretanjem na jagodicama prednjeg dijela stopala. Kod nepravilnog udarca nema rotacije stojeće noge što za posljedicu ima ograničenu fleksiju udarajuće noge.

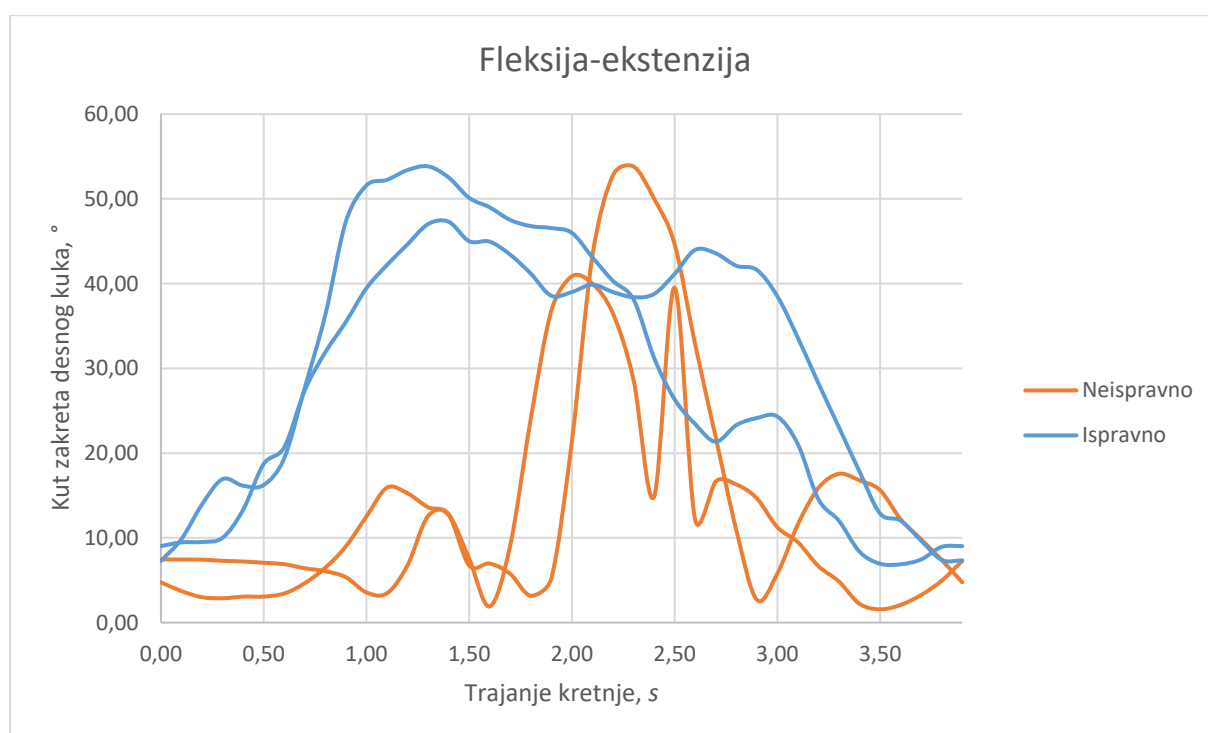
Plava krivulja abdukcije i adukcije dostiže veće vrijednosti kod nepravilnog udarca, nego kod pravilnog. Budući da kružni udarac treba imati kružnu putanju, a ona se ne može postići ako stojeća noga ostane fiksirana na tlu (koljeno ne dozvoljava rotaciju), događa se pokušaj kompenzacije manjka kružne kretnje pa se noga u kuku primiče središnjoj ravnini tijela.

Unutarnja i vanjska rotacija kuka prikazana zelenom krivuljom veća je kod nepravilnog izvođenja iz sličnog razloga kao i kod rotacije u čeonj ravnini. Radi postizanja kružne putanje forsira se primicanje noge središnjoj ravnini, a kako bi se noga položila bočno (kao i kod pravilnog udarca) noga se i rotira u kuku.

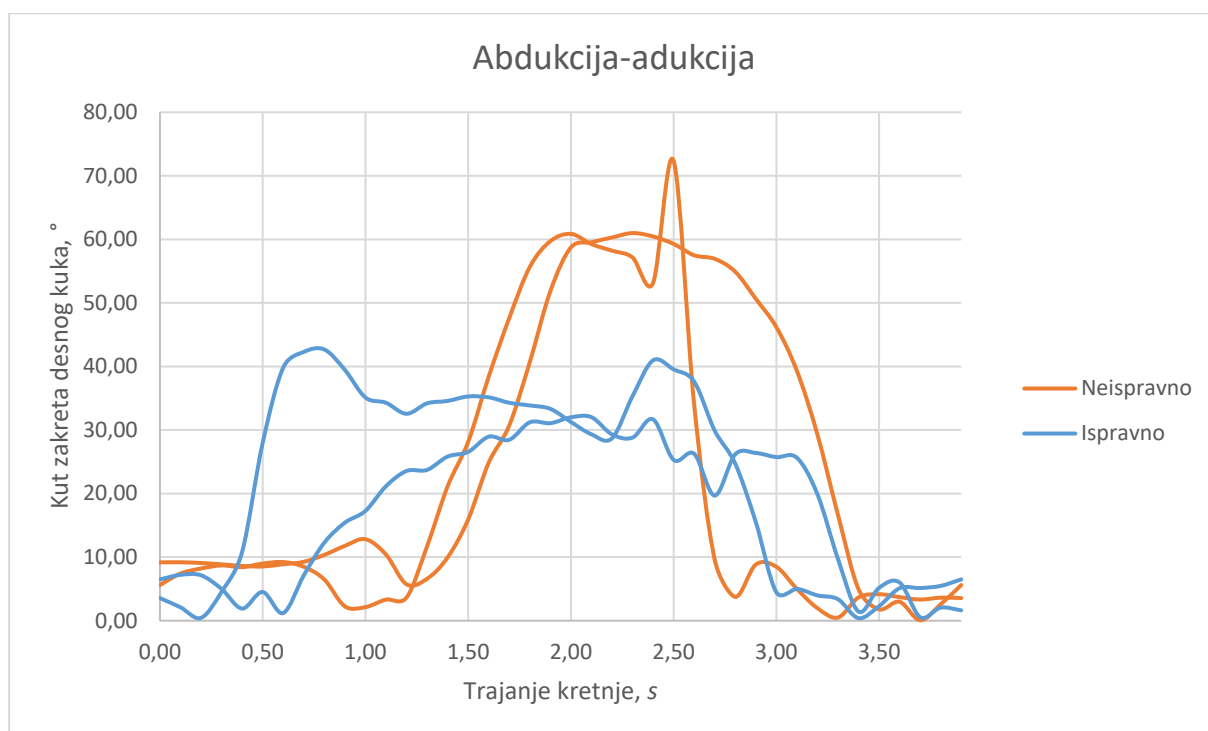
Navedene razlike mogu se pobliže promotriti i na sljedećim, uvećanim prikazima dijelova grafa sa Slike 22.

Prikazi sadrže krivulje kutova zakreta promatrane tijekom duljine trajanja izvođenja jednog pokreta (podizanje noge). Na svakom od grafova prikazane su krivulje oba nepravilna pokreta (narančasto) te krivulje oba pravilna pokreta (plavo). Uspoređene su apsolutne vrijednosti iznosa kutova radi bolje preglednosti.

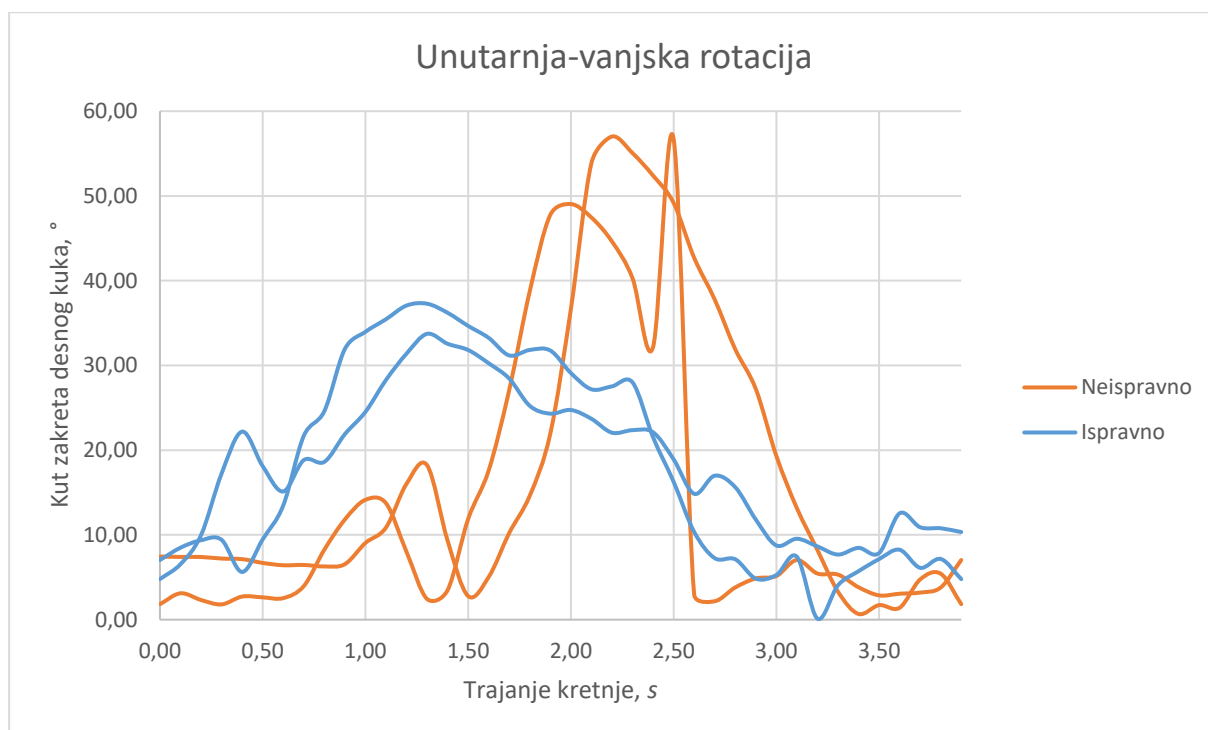
Na Slici 23 prikazana je usporedba kutova fleksije-ekstenzije, na Slici 24 prikazana je usporedba kutova abdukcije-adukcije te je na Slici 25 prikazana usporedba kutova unutarnje-vanjske rotacije pravilnog i nepravilnog pokreta.



Slika 23 Desna noga – usporedba kutova zakreta fleksije-ekstenzije



Slika 24 Desna noga – usporedba kutova zakreta abdukcije-adiukcije

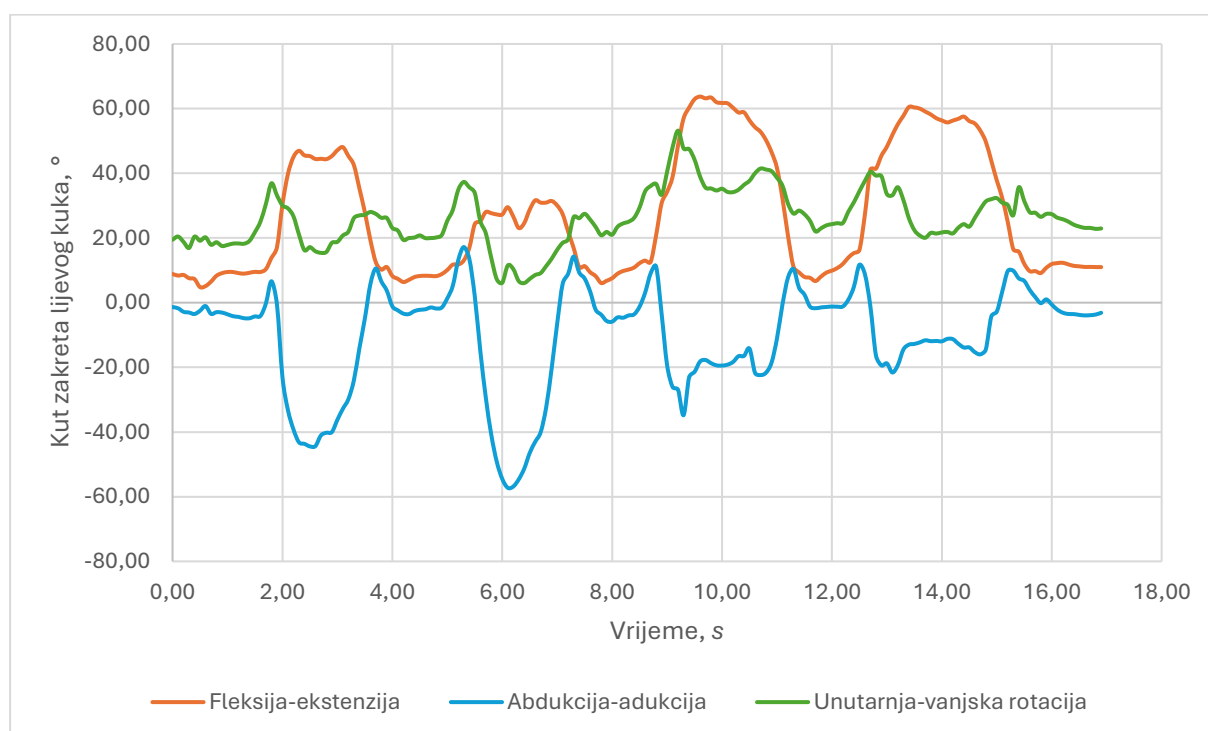


Slika 25 Desna noga – usporedba kutova zakreta unutarnje-vanjske rotacije

5.1.1.2. Lijeva noga

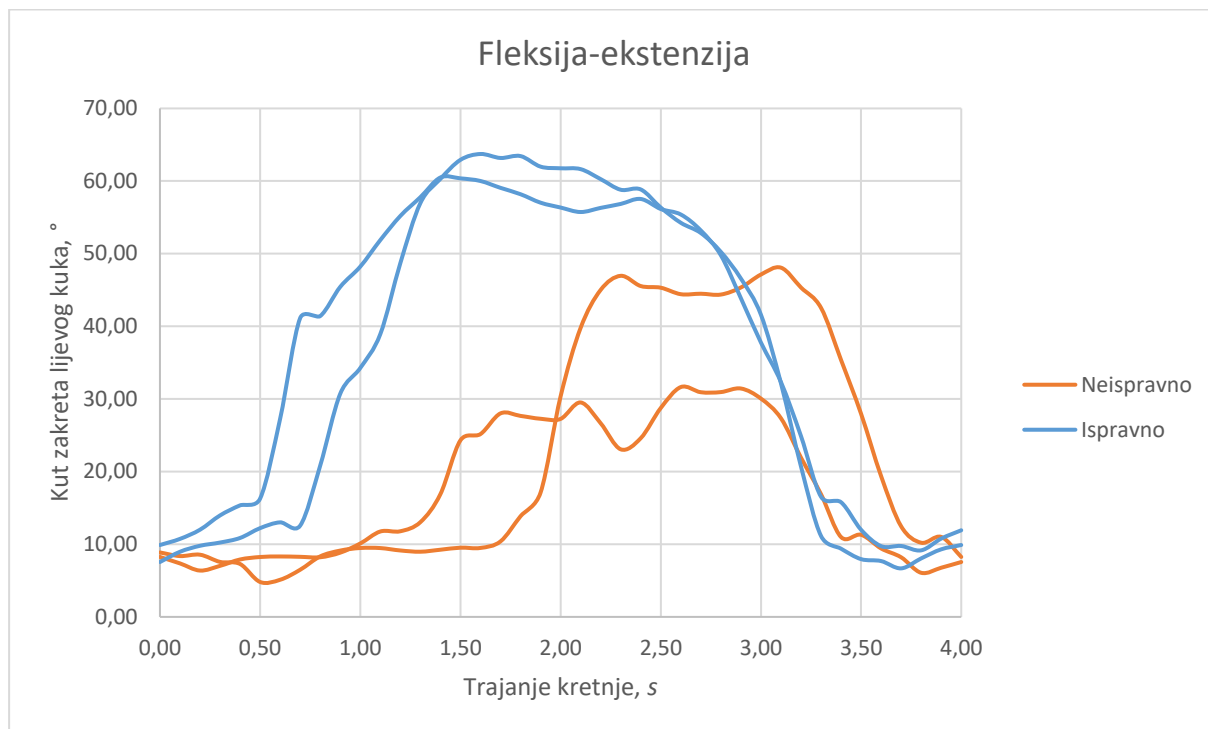
Isto kao i kod desne noge, događa se i kad se udarac izvodi lijevom nogom što je vidljivo na Slici 26. Slični vremenski rasponi izvođenja kretnje vrijede i za lijevu nogu.

Međutim, zbog toga što je izvođačeva lijeva noga nedominantna, dolazi do oscilacija u krivulji unutarne i vanjske rotacije. To se može objasniti utjecajem dominantne noge kod koje je stabilnost i kontrola izraženija nego kod nedominantne noge. Bolja kontrola i fleksibilnost na dominantnoj strani omogućuju preciznije izvođenje udarca.

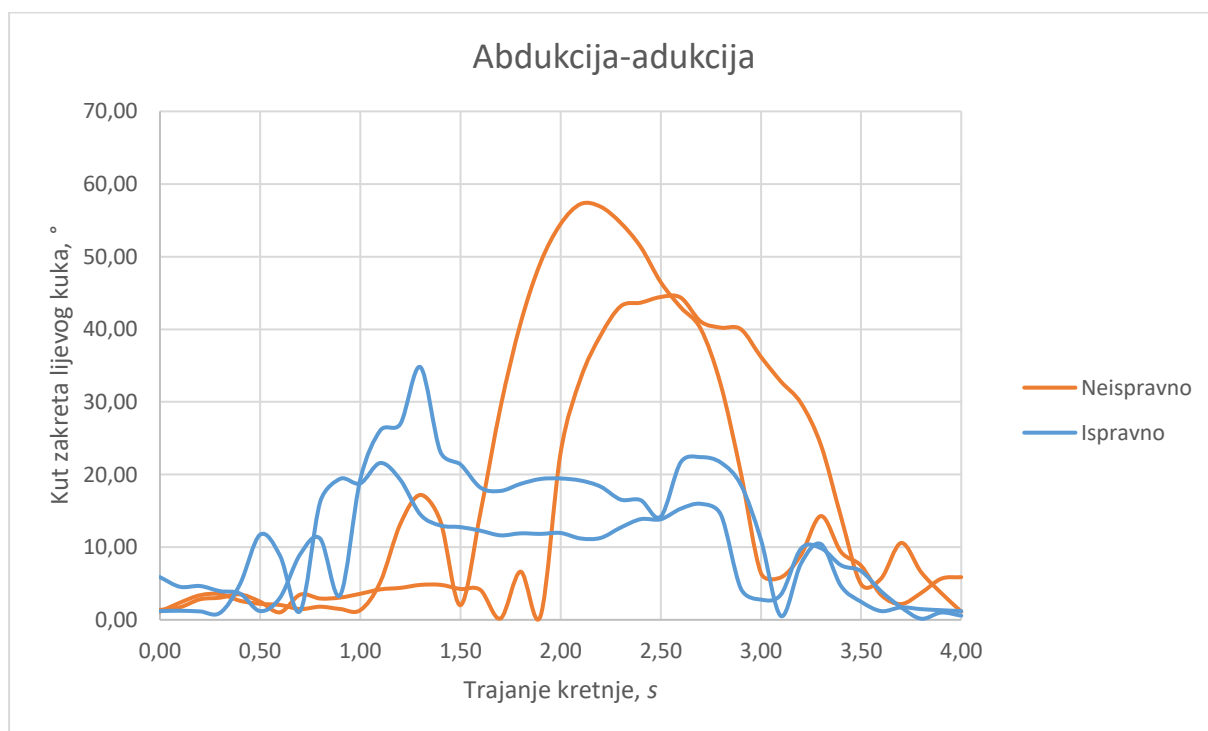


Slika 26 Lijeva noga – kut zakreta lijevog kuka

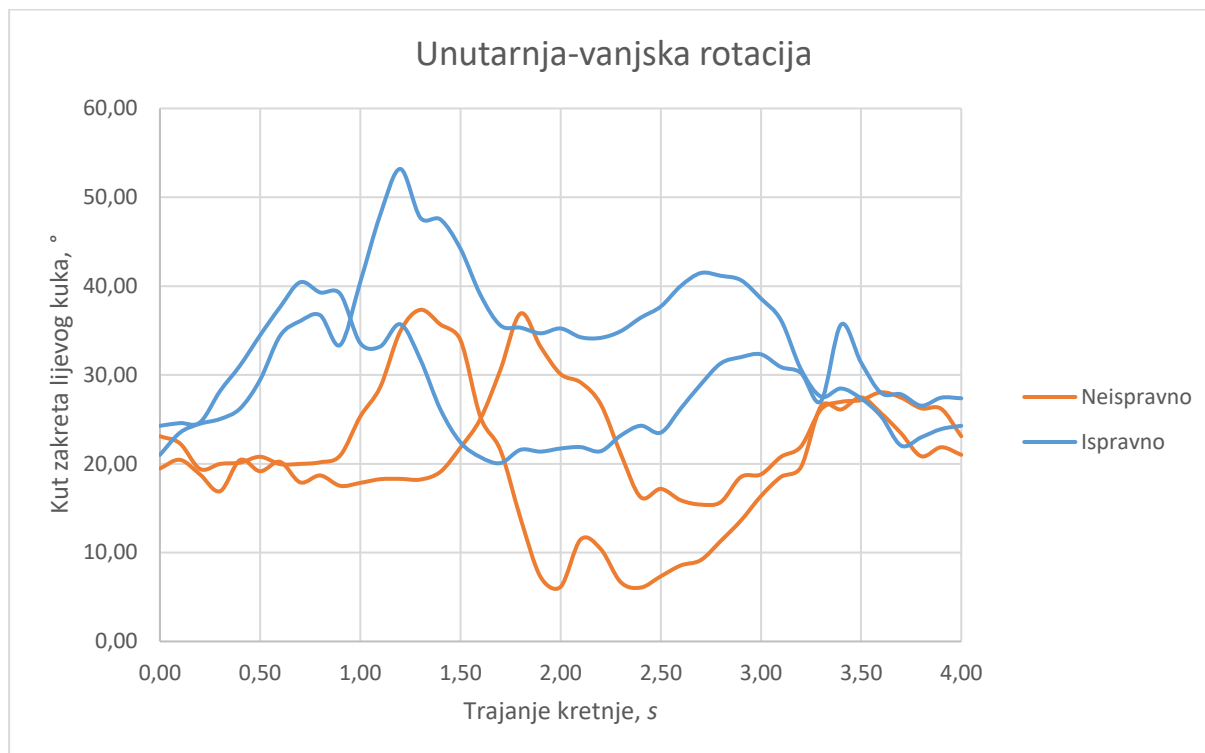
Razlike u kutovima zakreta sa Slike 26 možemo pobliže promotriti, kao i kod desne noge, na sljedećim grafovima. Na Slici 27 prikazana je usporedba kutova fleksije-ekstenzije, na Slici 28 prikazana je usporedba kutova abdukcije-adukcije te je na Slici 29 prikazana usporedba kutova unutarnje-vanjske rotacije pravilnog i nepravilnog pokreta.



Slika 27 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta fleksije-ekstenzije



Slika 28 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta abdukcije-adukcije



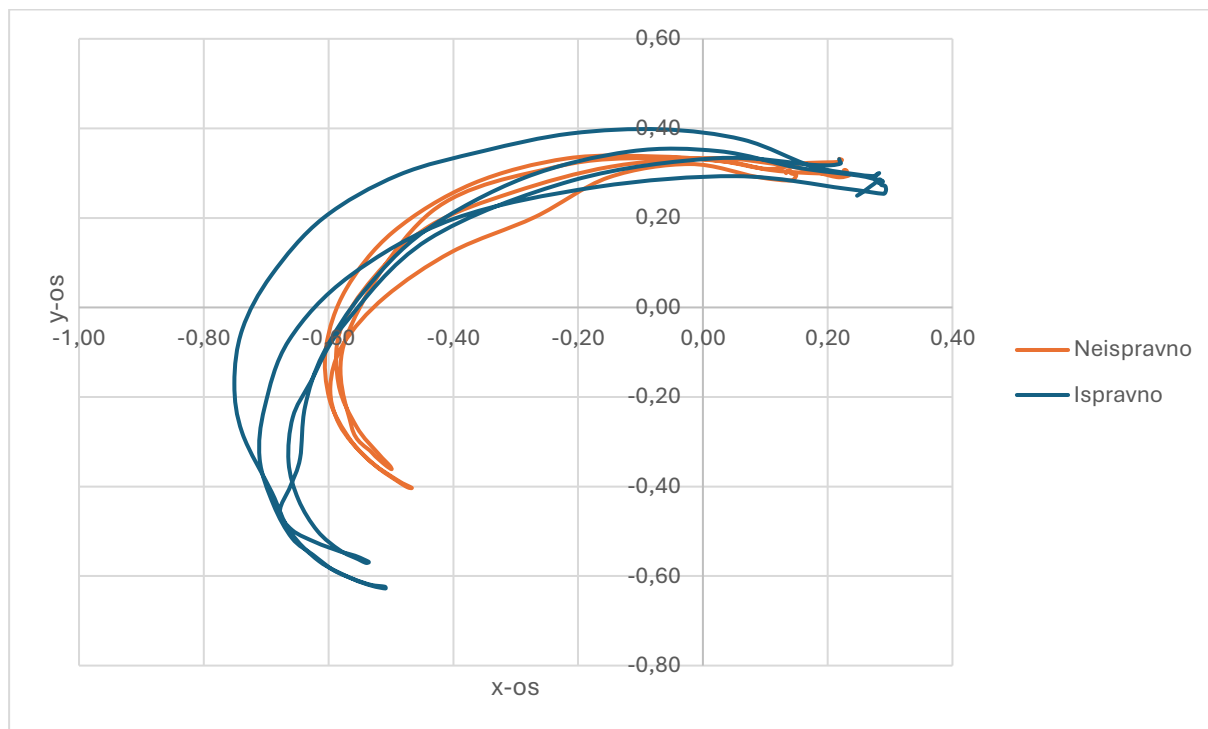
Slika 29 Lijeva noga – usporedba kutova zakreta unutarnje-vanjske rotacije

5.1.2. Pozicija koljena udarajuće noge

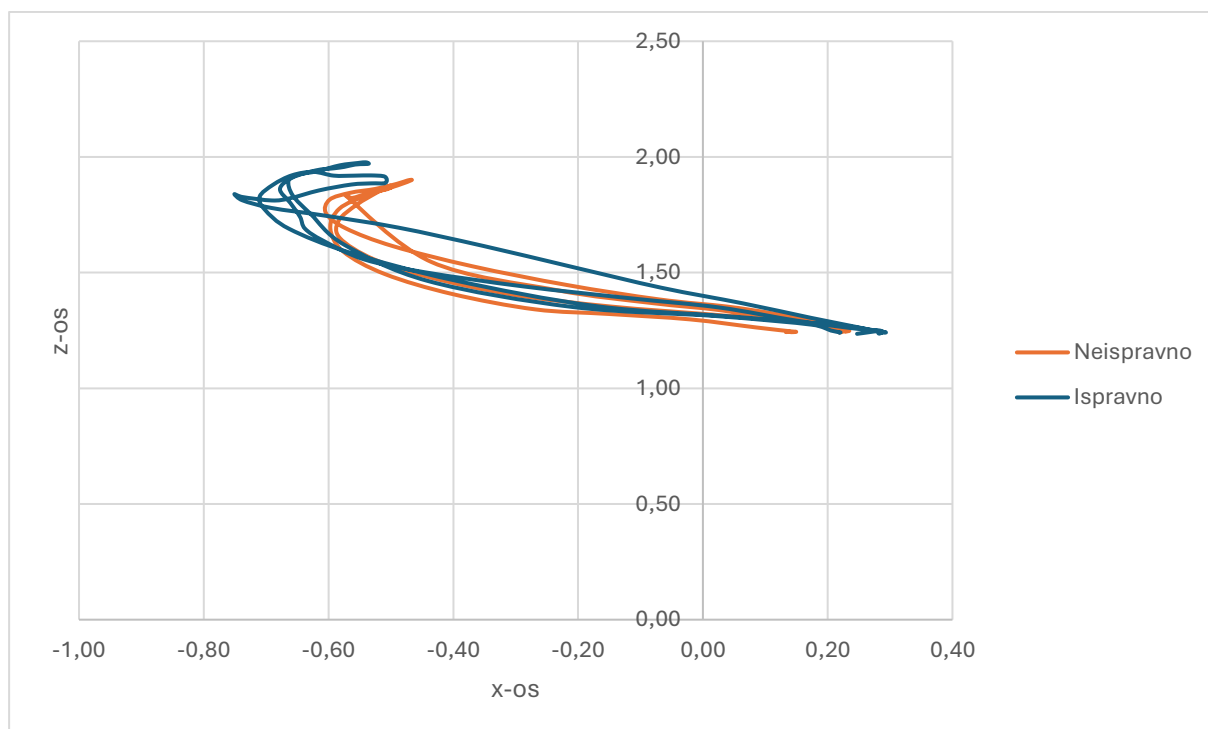
5.1.2.1. Desna noga

Slijedi analiza pozicije koljena udarajuće noge u x, y i z koordinatama. Na Slici 30 grafički je prikazana projekcija pozicije koljena desne noge na xy-ravninu (horizontalna), dok je na Slici 31 grafički prikazana projekcija pozicije koljena desne noge na xz-ravninu (vertikalna).

Plava krivulja predstavlja poziciju koljena udarajuće noge pri ispravnom izvođenju udarca, dok narančasta predstavlja onu pri neispravnom izvođenju udarca.



Slika 30 Pozicija desnog koljena u xy-ravnini



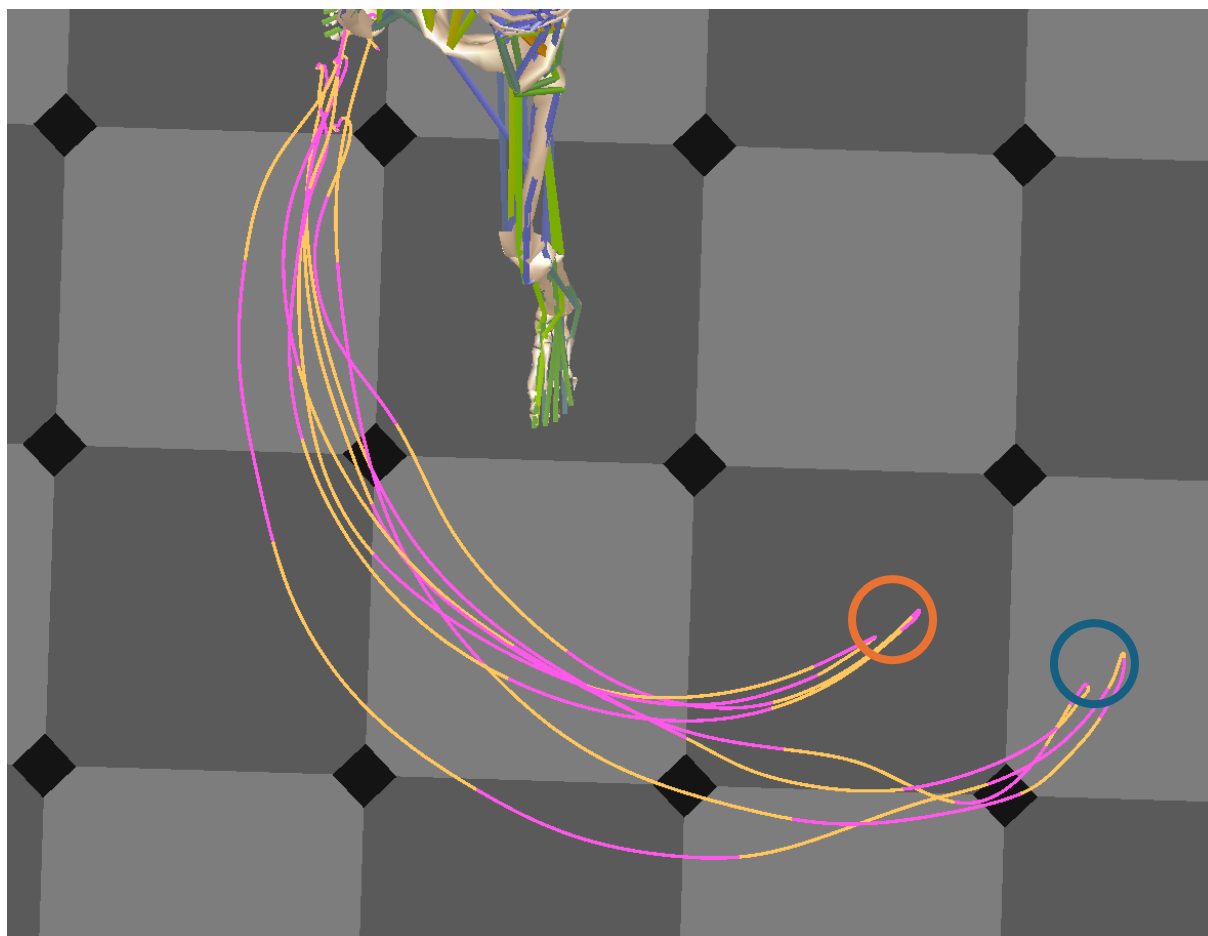
Slika 31 Pozicija desnog koljena u xz-ravnini

Iz grafova je vidljivo da je doseg koljena dalji, dublji i viši kada se udarac izvodi pravilno, odnosno da udarac dostiže veće vrijednosti na x, y i z-osi. Također, vidljiva je i kružna putanja karakteristična za ovaj udarac.

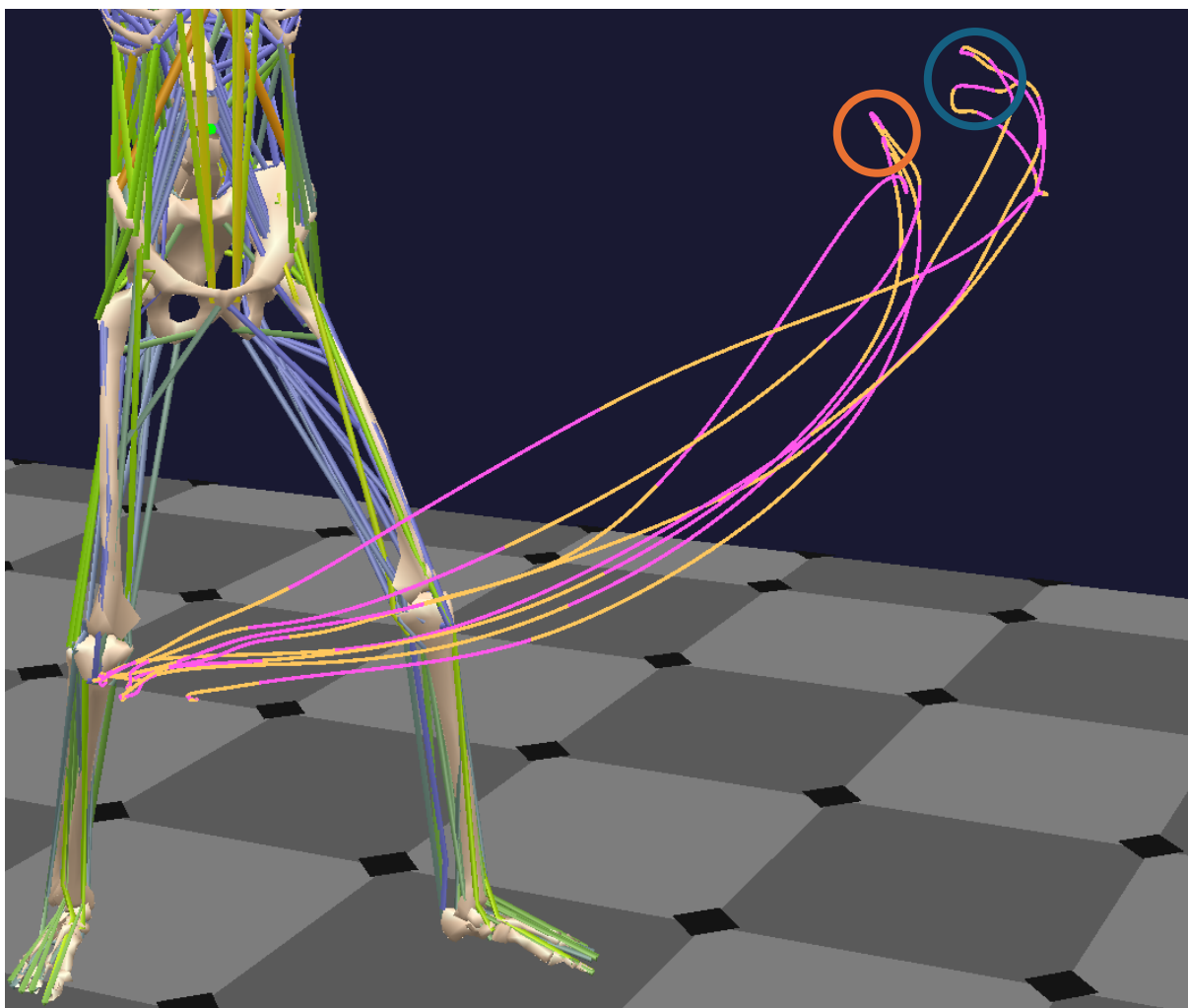
Doseg koljena usko je povezan s kretanjem kukova. Veće vrijednosti na x-osi postigle su se vanjskom rotacijom kuka stojeće noge, dok su se veće vrijednosti na y-osi postigle ranije spomenutom nastavljenom fleksijom kuka i nakon zamišljene mete. Visina koljena na z-osi može se mijenjati abdukcijom kukova prije završnice udarca. Valja istaknuti kako je prikazani doseg narančaste krivulje ujedno i njezin maksimalni doseg, dok kod plave krivulje postoji prostor za modificiranje jer je u završnoj poziciji kuk i dalje slobodan.

Spomenute pozicije vidljive su i na sljedeće dvije slike 3D modela iz programa *Biomechanics of Bodies* u obliku putanje koju koljeno ostvaruje. Na Slici 32 prikazana je snimljena putanja koju postiže koljeno udarajuće desne noge u xy-ravnini, dok se na Slici 33 vidi ista putanja ali u xz-ravnini.

Narančastom kružnicom označeni su dosezi pri neispravnom izvođenju, a plavom pri ispravnom izvođenju. Ponovno se mogu vidjeti razlike u duljini putanja koljena.



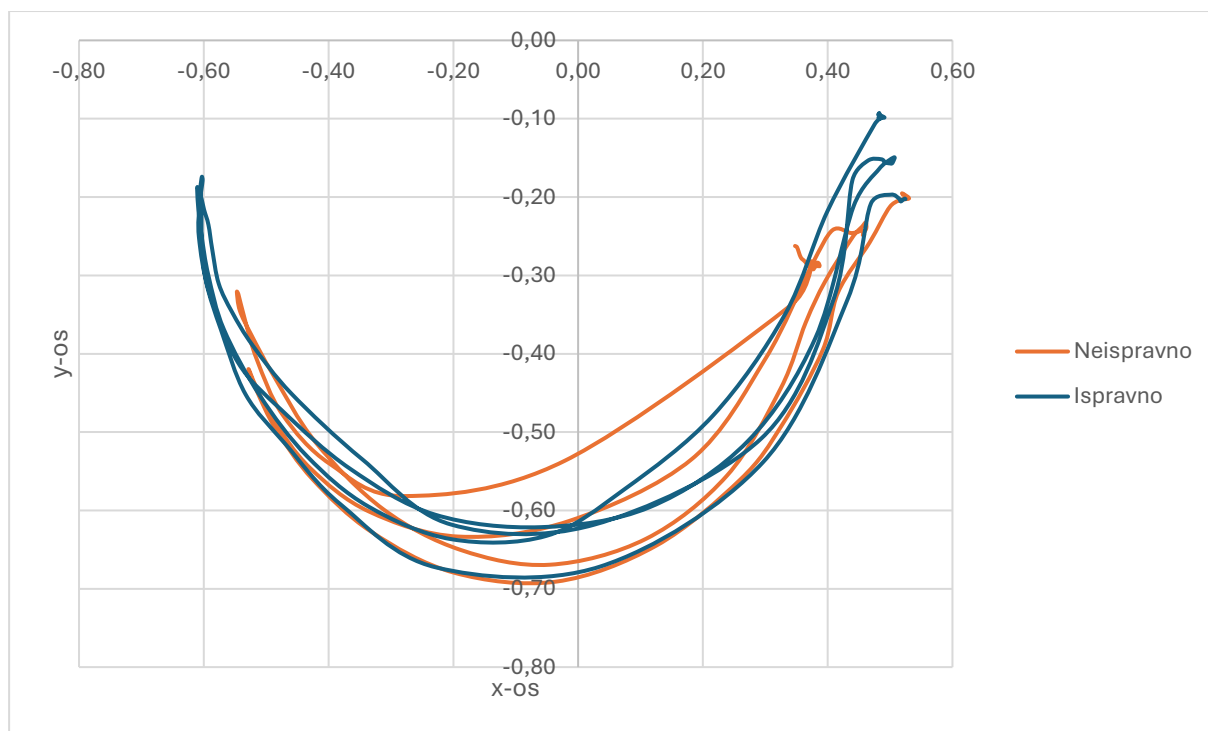
Slika 32 Putanja koljena desne noge u xy-ravnini



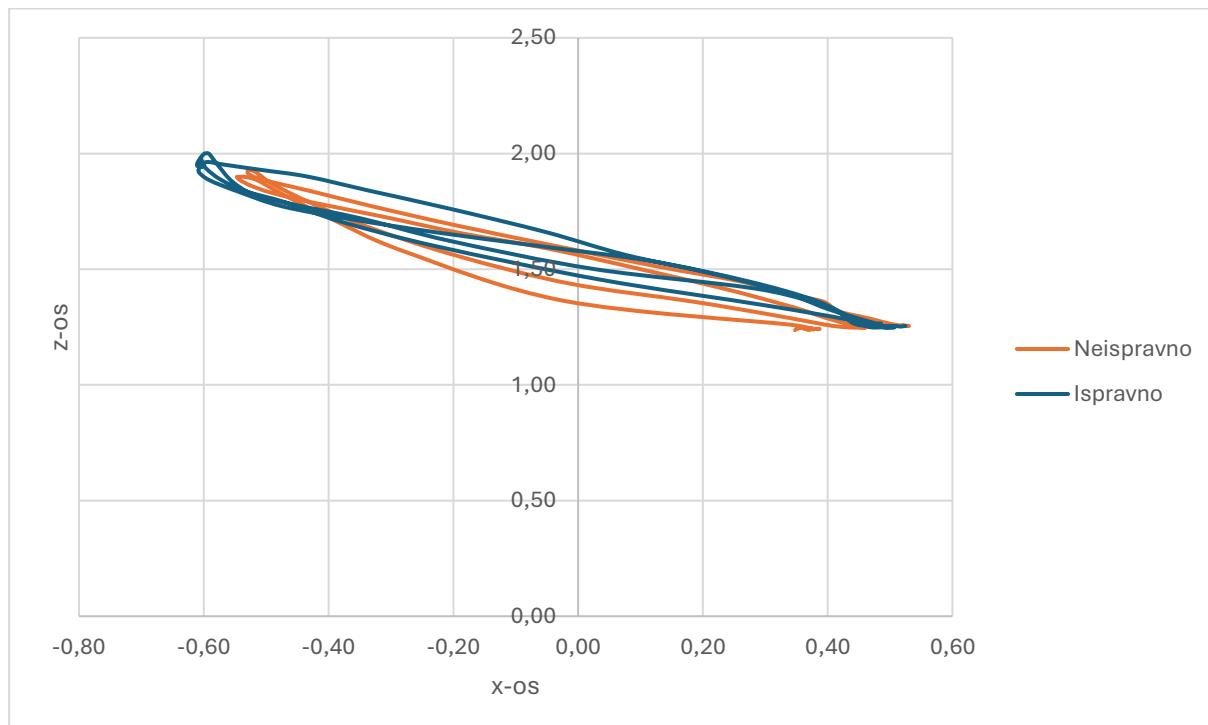
Slika 33 Putanja koljena desne noge u xz-ravnini

5.1.2.2. *Lijeva noga*

Isto kao i kod desne noge, vidljivo je i kod udaranja lijevom nogom. Na Slici 34 grafički je prikazana projekcija pozicije koljena lijeve noge na xy-ravninu (horizontalna), dok je na Slici 35 grafički prikazana projekcija pozicije koljena lijeve noge na xz-ravninu (vertikalna).



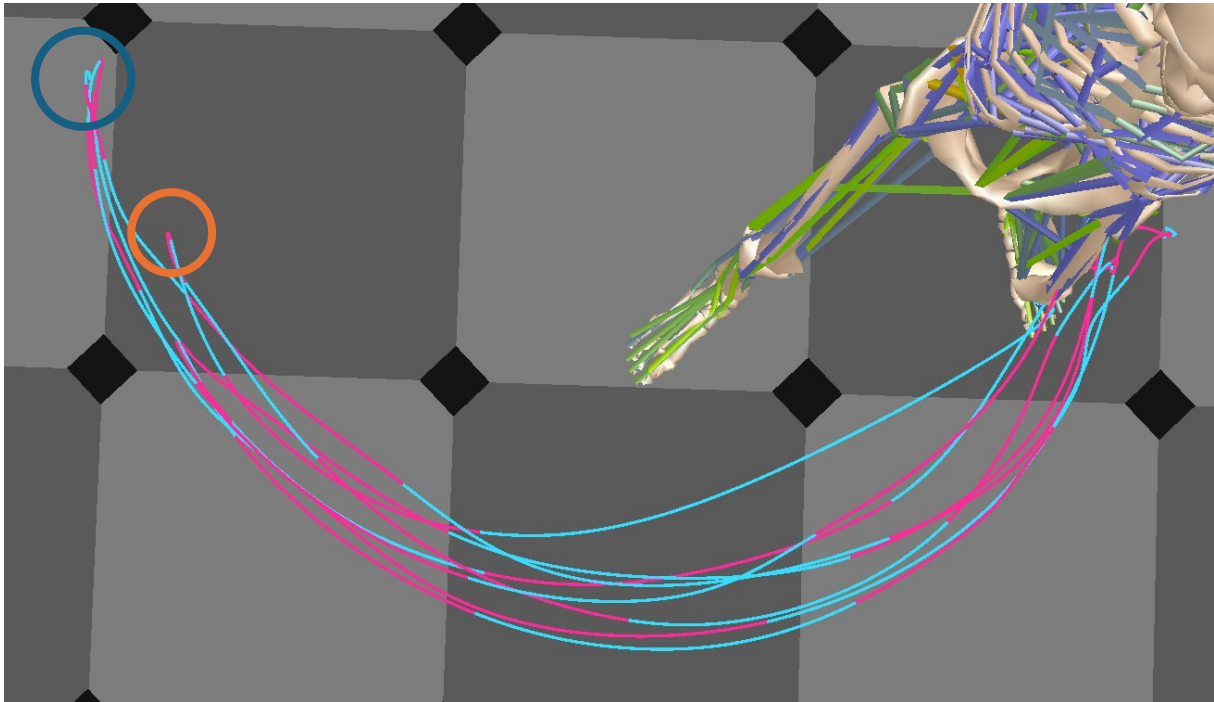
Slika 34 Pozicija lijevog koljena u xy-ravnini



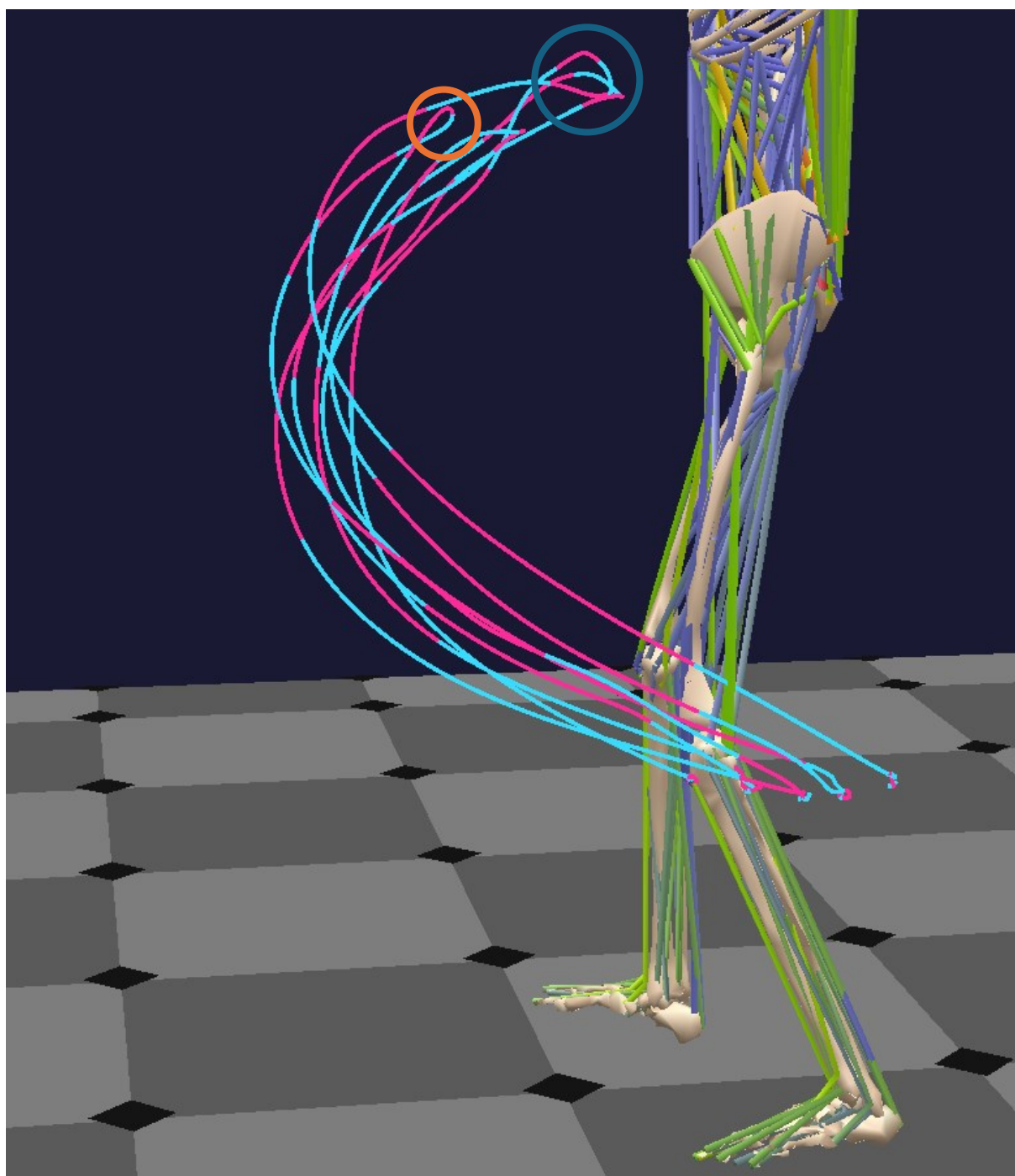
Slika 35 Pozicija lijevog koljena u xz-ravnini

Spomenute pozicije vidljive su i na sljedeće dvije slike 3D modela iz programa *Biomechanics of Bodies* u obliku putanje koju koljeno ostvaruje. Na Slici 36 prikazana je snimljena putanja koju postiže koljeno udarajuće desne noge u xy-ravnini, dok se na Slici 37 vidi ista putanja ali u xz-ravnini.

Narančastom kružnicom označeni su dosezi pri neispravnom izvođenju, a plavom pri ispravnom izvođenju. Ponovno se mogu vidjeti razlike u duljini putanja koljena.



Slika 36 Putanja koljena lijeve noge u xy-ravnini

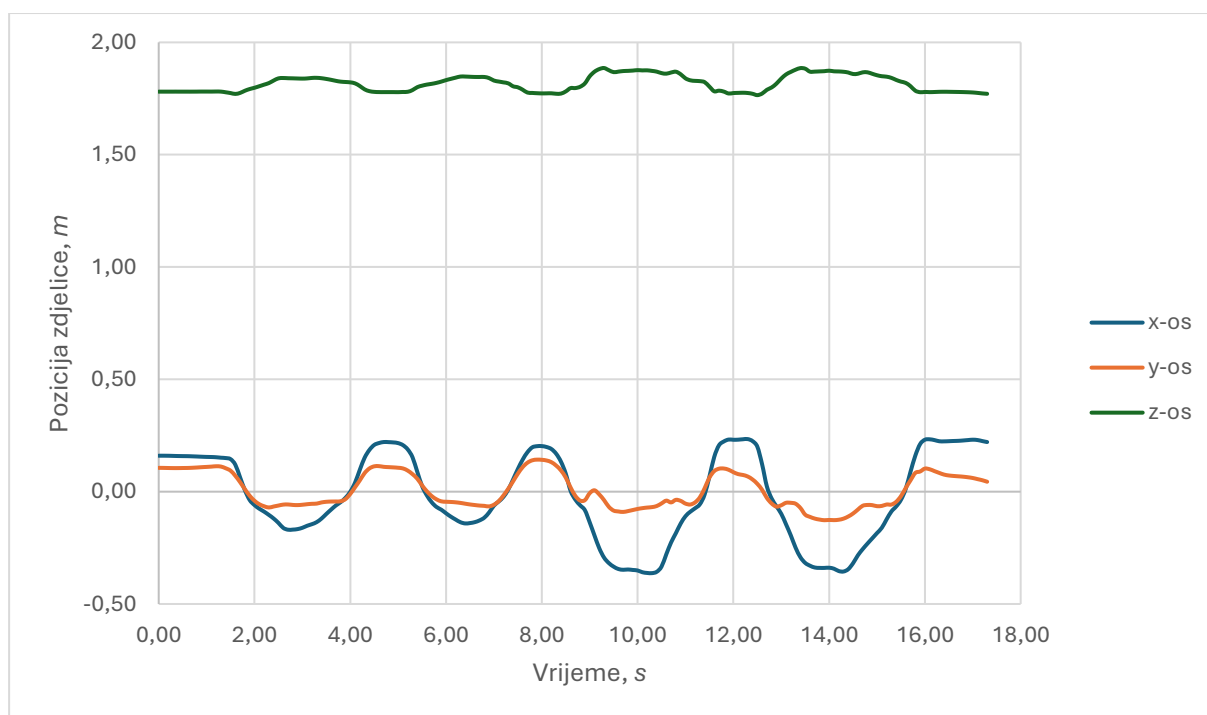


Slika 37 Putanja koljena lijeve noge u xz-ravnini

5.1.3. Pozicija zdjelice

5.1.3.1. Desna noga

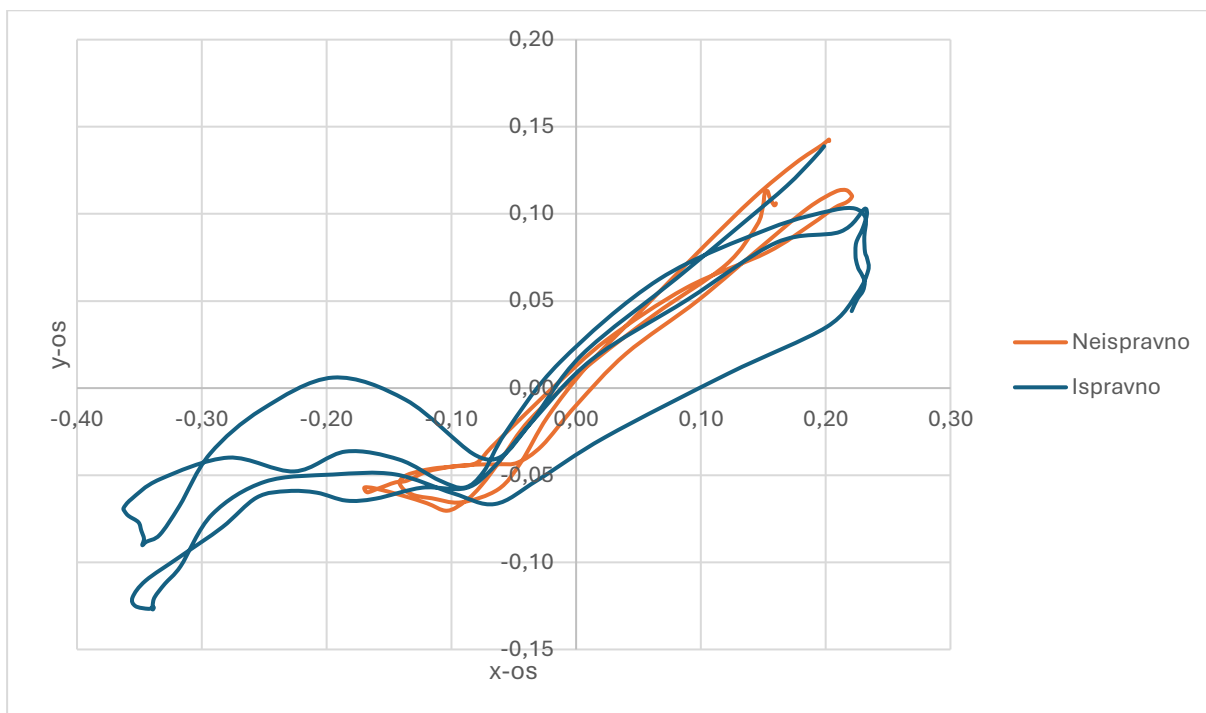
Tijekom pokreta pratila se i pozicija zdjelice. Na Slici 38 prikazan je graf pozicije zdjelice u x, y i z koordinatama u vremenu pri udaranju desnom nogom.



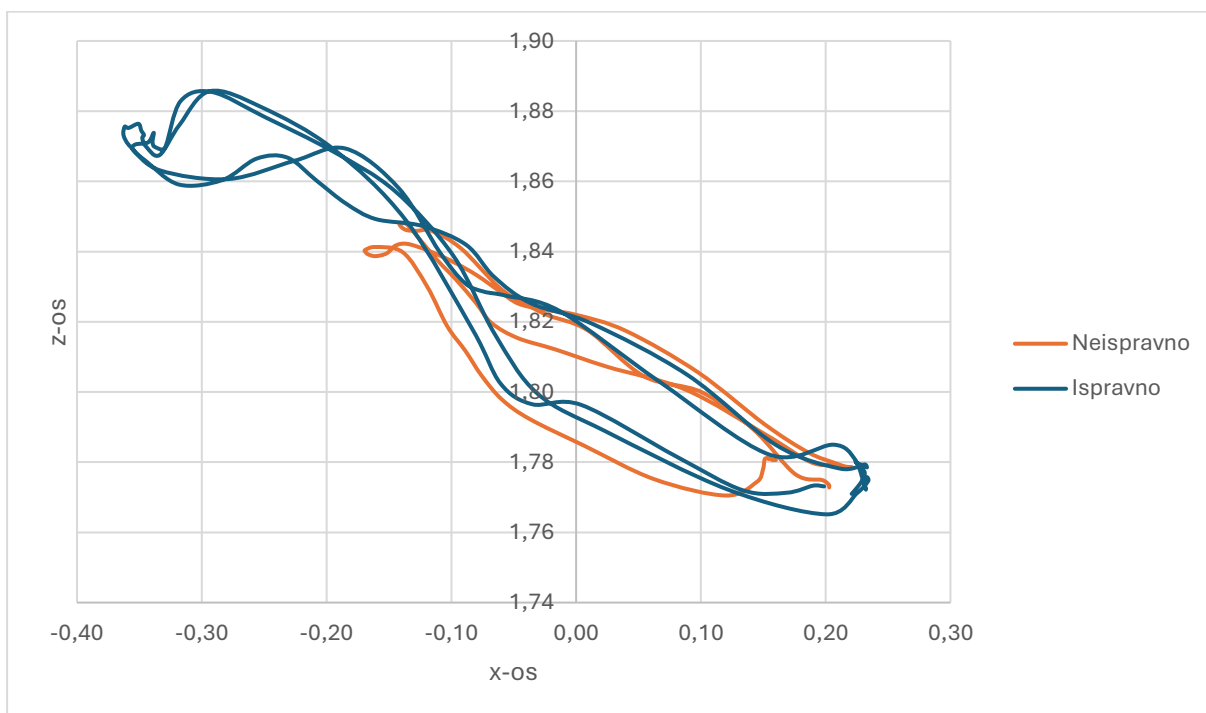
Slika 38 Desna noga – pozicija zdjelice u vremenu

Plavom krivuljom prikazan je pomak zdjelice na x-osi, narančastom pomak zdjelice na y-osi, a zelenom pomak zdjelice na z-osi. Vidljivo je da se veće vrijednosti na sve tri osi dostižu prilikom pravilnog izvođenja.

Razlike u pomaku zdjelice bolje su uočljive na sljedećim dijagramima. Na Slici 39 grafički je prikazana projekcija pozicije zdjelice na xy-ravninu (horizontalna), dok je na Slici 40 grafički prikazana projekcija pozicije zdjelice na xz-ravninu (vertikalna). Plavom linijom prikazana je putanja ispravnih izvođenja, dok je narančastom prikazana putanja neispravnih izvođenja.



Slika 39 Desna noga – pozicija zdjelice u xy-ravnini



Slika 40 Desna noga – pozicija zdjelice u xz-ravnini

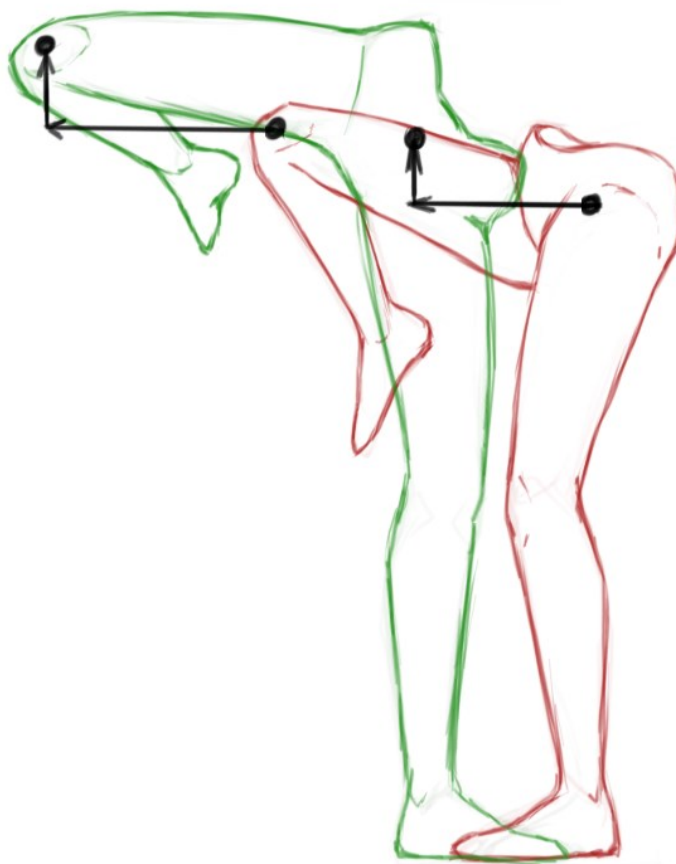
Iz grafova se može vidjeti kako zdjelica prilikom pomicanja radi blagi luk te se pomiče prema naprijed, u smjeru udarca te u vis.

Sama lučna putanja zdjelice proizlazi iz započinjanja udarca generiranjem momenta iz ramena (prva faza – podizanje noge). Moment se, preko trupa, prenosi na zdjelicu koja se potom rotira oko kuka stojeće noge do kuta koji joj kuk omogućuje (maksimalna unutarnja rotacija). Kod neispravnog izvođenja tu raspon pokreta staje jer je stojeća noga fiksirana na tlu. Ukupna putanja koju prijeđe zdjelica kraća je što je i vidljivo iz grafa na Slici 39 – narančasta linija ima kraći doseg od plave.

Kod pravilnog udarca, kretanja se nakon te točke nastavlja u drugu fazu. Moment sa zdjelice prenosi se na stojeću nogu. Ona se slobodno rotira (vanjska rotacija i abdukcija). Kada dođe do pravilne pozicije, stvara prostor za daljnju rotaciju zdjelice u kuku. Na takav način se događa i druga translacija zdjelice u xy-ravnini. Daljnja abdukcija kuka očituje se kao podizanje zdjelice po z-osi.

Upravo ovakav pomak zdjelice zabilježen je u x, y i z koordinatama.

Na Slici 41 skicom su prikazane razlike u pomaku zdjelice u xz-ravnini kod nepravilnog (crveno) i pravilnog (zeleno) krajnjeg položaja za udarac.

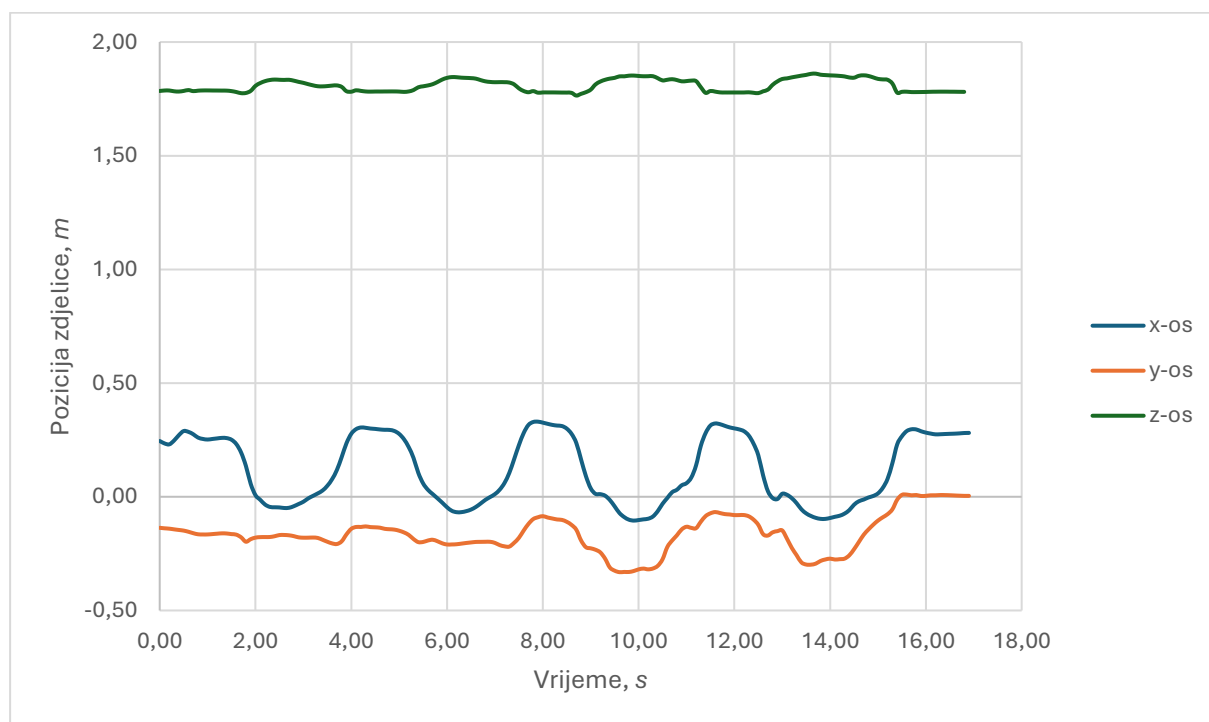


Slika 41 Razlike u pomaku zdjelice i koljena

Kraći doseg zdjelice ima za posljedicu i kraći doseg koljena udarne noge, a time i samog udarca.

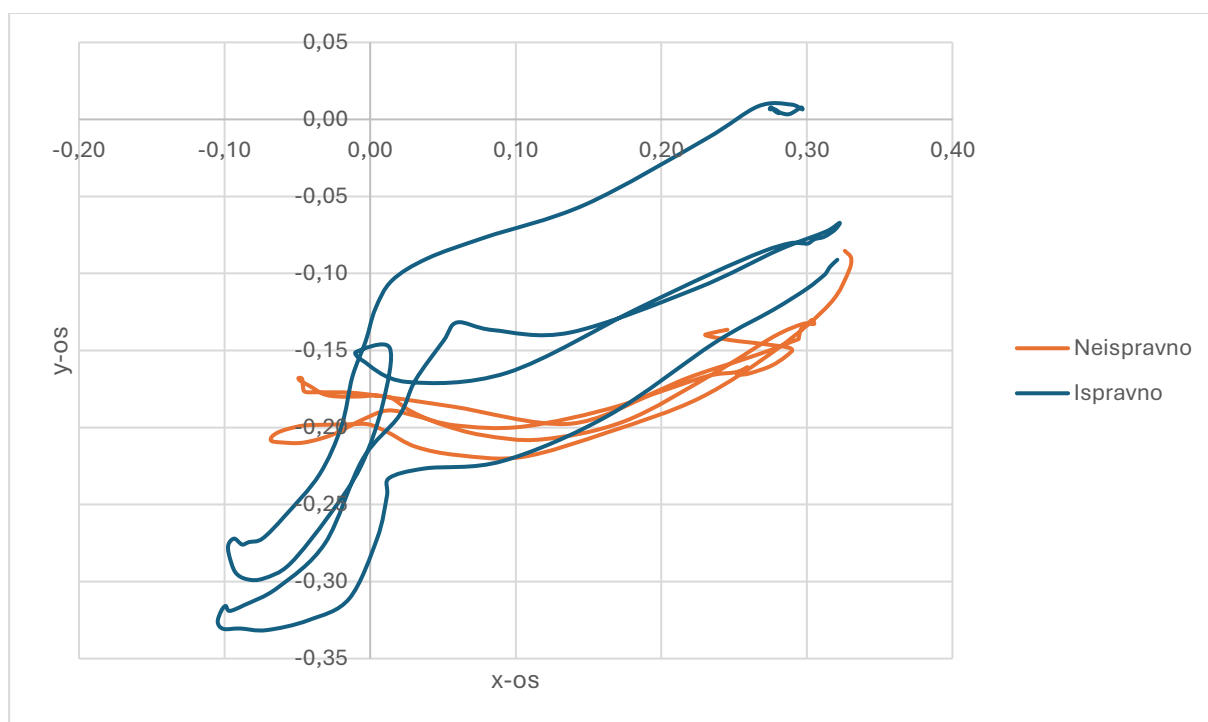
5.1.3.2. Lijeva noga

Isto se događa i kod udarca lijevom nogom. Na Slici 42 prikazan je graf pozicije zdjelice u x, y i z koordinatama u vremenu pri udaranju lijevom nogom.

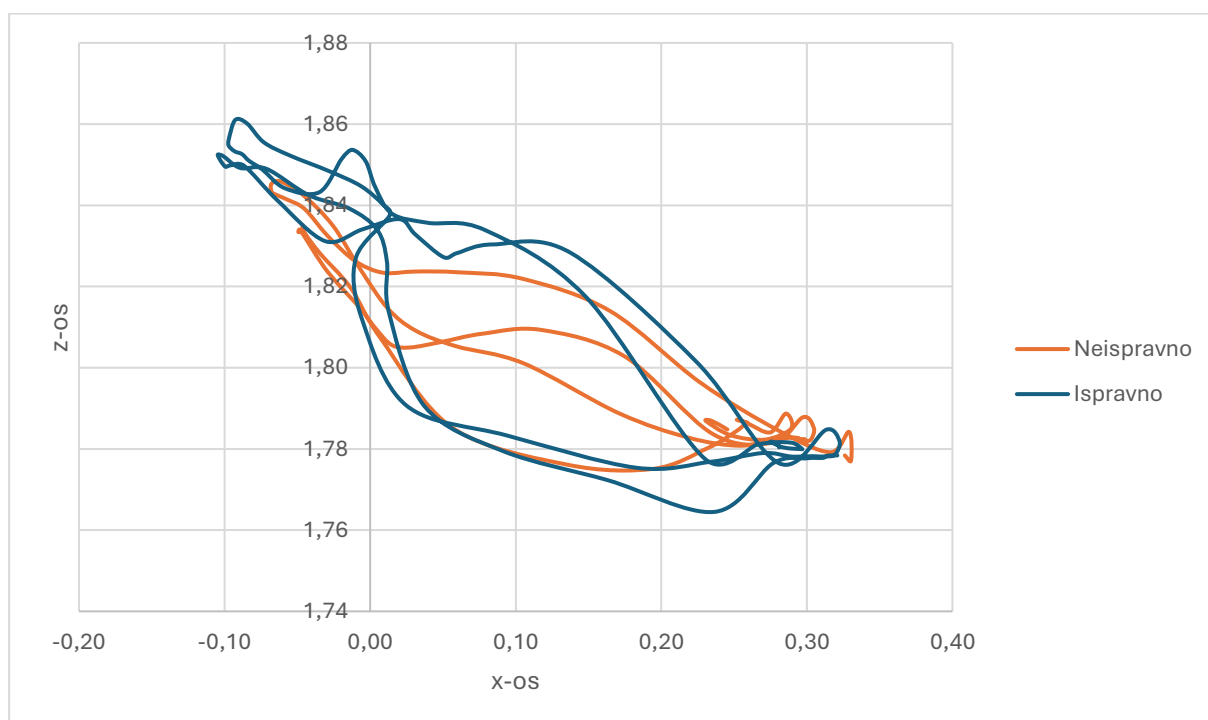


Slika 42 Lijeva noga – pozicija zdjelice u vremenu

Razlike u pomaku zdjelice, iako slabije izražene u odnosu na desnu nogu, bolje su uočljive na sljedećim dijagramima. Na Slici 43 grafički je prikazana projekcija pozicije zdjelice na xy-ravninu (horizontalna), dok je na Slici 44 grafički prikazana projekcija pozicije zdjelice na xz-ravninu (vertikalna). Plavom linijom prikazana je putanja ispravnih izvođenja, dok je narančastom prikazana putanja neispravnih izvođenja.



Slika 43 Lijeva noga – pozicija zdjelice u xy-ravnini



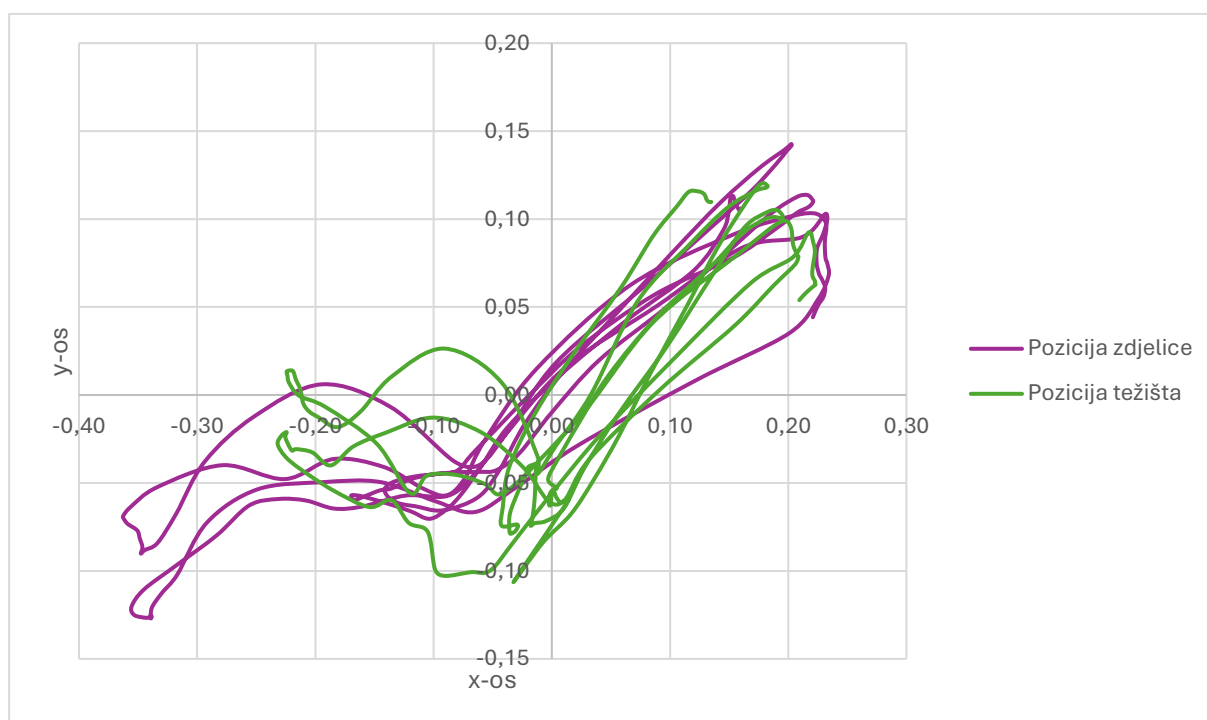
Slika 44 Lijeva noga – pozicija zdjelice u xz-ravnini

U ovom istraživanju naglasak je bio na zasebnom prikazivanju razlika u pravilnom i nepravilnom izvođenju pokreta bez obzira na nogu kojom se izvodi, iako su razlike između dominantne i nedominantne noge vidljive.

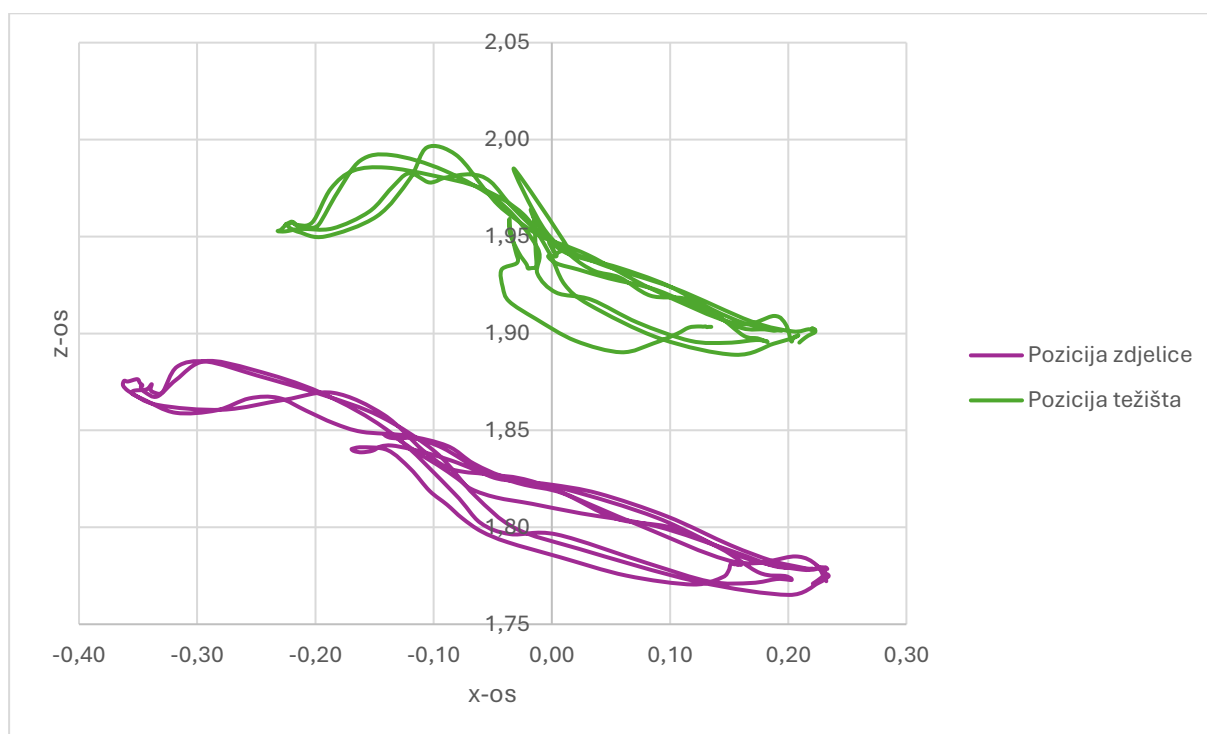
5.1.4. Pozicija težišta

5.1.4.1. Desna noga

Putanja težišta može se usporediti s putanjom zdjelice. Graf na Slici 45 prikazuje projekciju pozicije zdjelice i težišta na xy-ravninu (horizontalna), a na Slici 46 projekciju pozicije zdjelice i težišta na xz-ravninu (vertikalna) kod udarca desnom nogom. Ljubičastom linijom prikazana je putanja zdjelice, dok je zelenom prikazana putanja težišta. Obje putanje uključuju i ispravni i neispravni pokret.



Slika 45 Desna noga – pozicija zdjelice i težišta u xy-ravnini

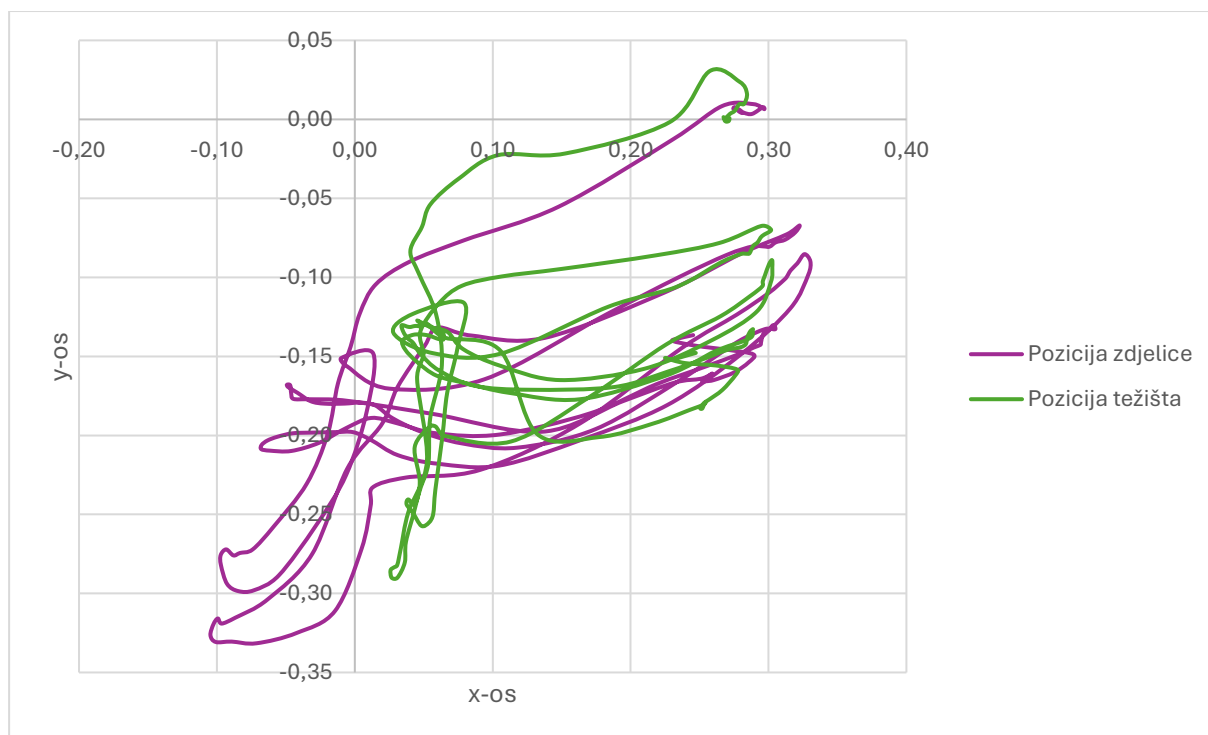


Slika 46 Desna noga – pozicija zdjelice i težišta u xz-ravnini

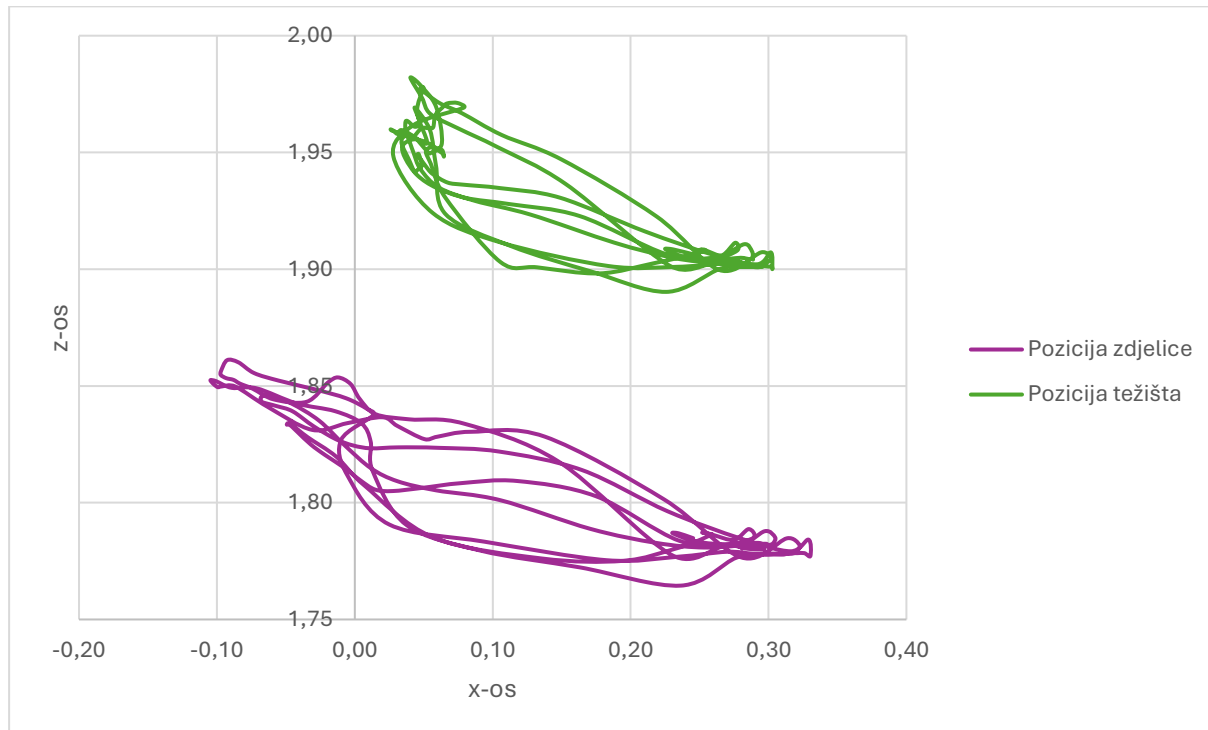
Krivulja težišta slično se ponaša kao i krivulja zdjelice jer se ove točke u tijelu nalaze jedna iznad druge. Krivulja težišta je, kao što se vidi na grafu u xz-projekciji, na višoj poziciji. Vidljivo je da zelena krivulja pozicije težišta ostvaruje kraći doseg od zdjelice zbog naginjanja tijela unazad u završnici udarca (druga faza).

5.1.4.2. Lijeva noga

Isto vrijedi i za lijevu nogu. Graf na Slici 47 prikazuje projekciju pozicije zdjelice i težišta na xy-ravninu (horizontalna), a na Slici 48 projekciju pozicije zdjelice i težišta na xz-ravninu (vertikalna) kod udarca lijevom nogom.



Slika 47 Lijeva noga – pozicija zdjelice i težišta u xy-ravnini

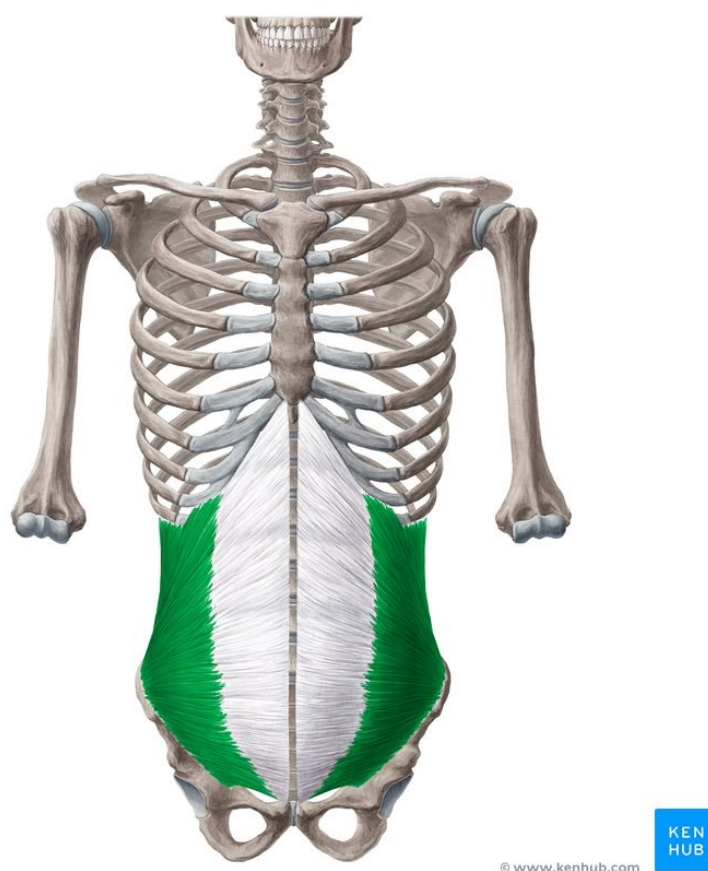


Slika 48 Lijeva noga – pozicija zdjelice i težišta u xz-ravnini

5.1.5. Aktivnost unutarnjeg kosog trbušnog mišića

Unutarnji kosi trbušni mišić nalazi se na bočnoj strani abdomena između vanjskog trbušnog kosog mišića i poprečnog trbušnog mišića. Ima važnu ulogu u pokretanju trupa te reguliranju intraabdominalnog tlaka. Kontrakcijom obje strane (bilateralno) dolazi do fleksije trupa, dok kontrakcijom jedne strane (unilateralno) dolazi do lateralne fleksije trupa te rotacije trupa na stranu kontrahiranog mišića [30].

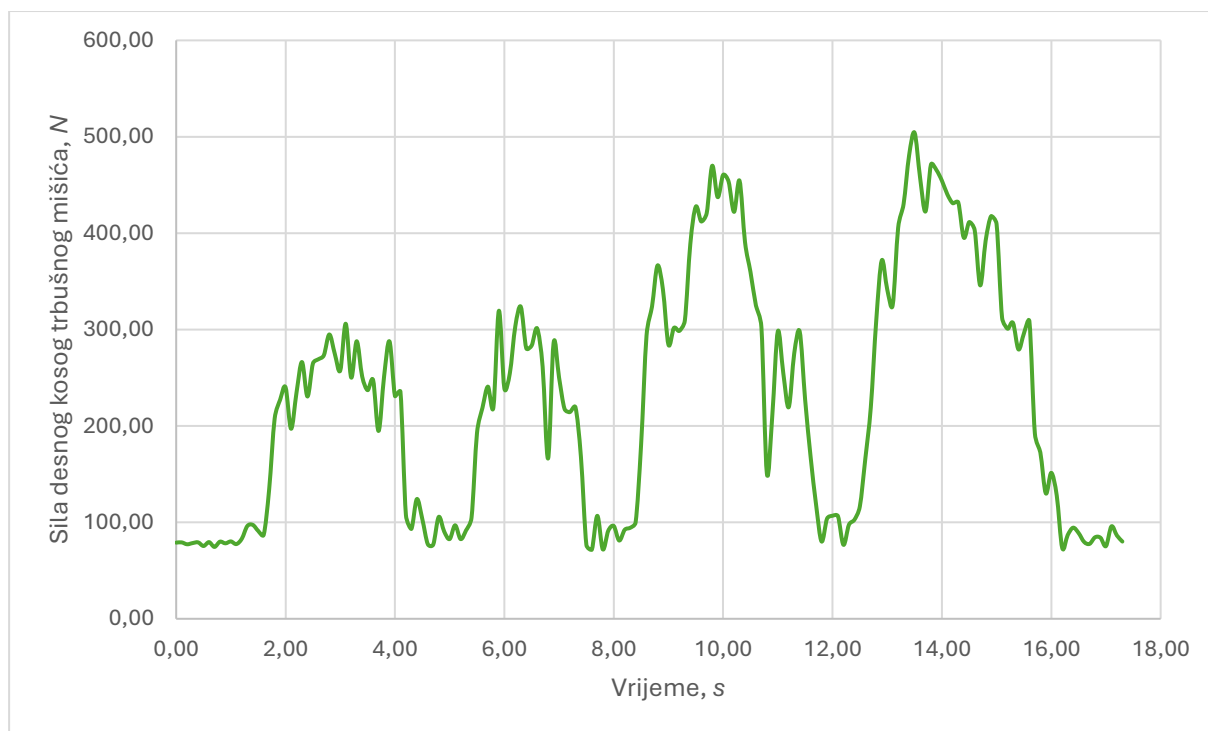
Slika 49 prikazuje položaj unutarnjeg kosog trbušnog mišića u tijelu.



Slika 49 Unutarnji kosi trbušni mišić [30]

5.1.5.1. Desna noga

Tijekom mjerenja zabilježena je i aktivnost unutarnjeg kosog trbušnog mišića. Na Slici 50 grafički je prikazana sila desnog unutarnjeg kosog trbušnog mišića u ovisnosti o vremenu prilikom udaranja desnom nogom.



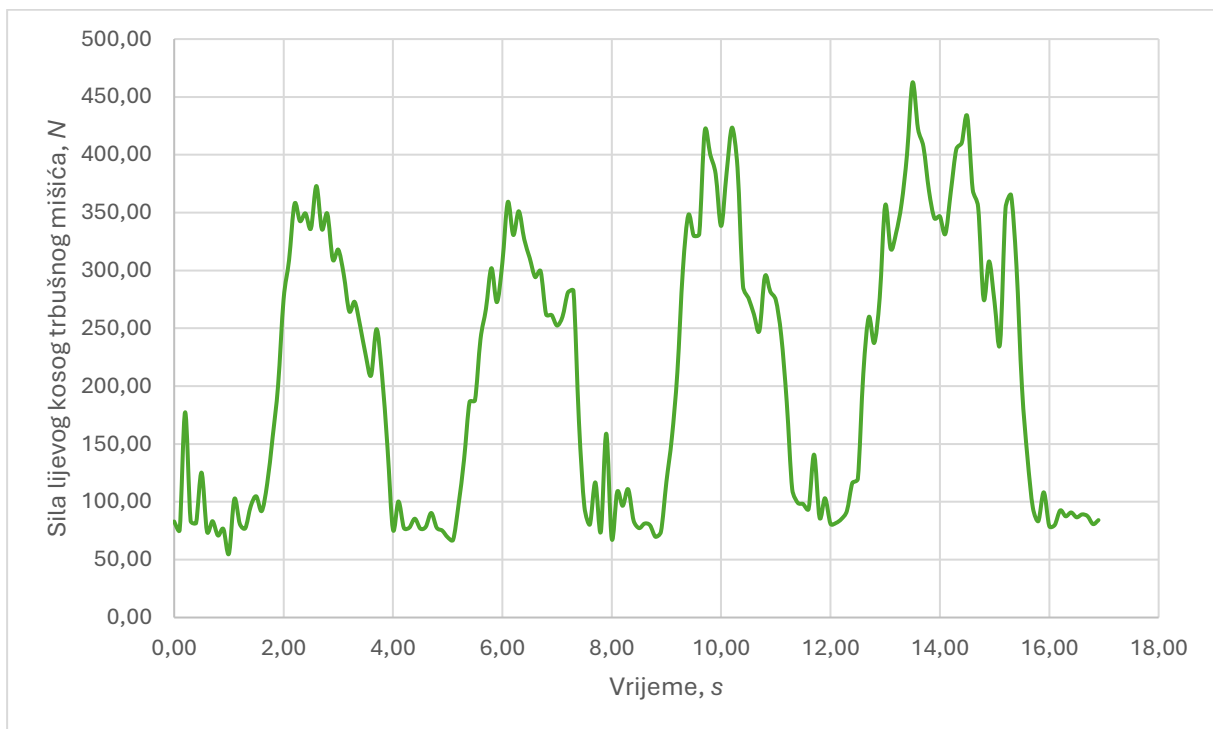
Slika 50 Sila desnog unutarnjeg kosog trbušnog mišića

Vidljive su više vrijednosti sile prilikom ispravnog izvođenja, tj. mišić je tada aktivniji.

Kako bi došlo do podizanja udarajuće noge mora doći i do aktivacije mišića na istoj strani. U ovom slučaju udaranja desnom nogom to znači desni unutarnji kosi trbušni mišić. Kod neispravnog pokreta, do aktivacije mišića dolazi, ali je ona manja. Kod ispravnog pokreta dolazi do podizanja noge na veću visinu pogotovo u drugoj fazi. Samim time potrebna je i veća fleksija trupa prema udarajućoj nozi što zahtjeva veću aktivaciju mišića na toj strani.

5.1.5.2. Lijeva noga

Isto je vidljivo i na grafu sile lijevog unutarnjeg kosog trbušnog mišića u ovisnosti o vremenu prilikom izvođenja udarca lijevom nogom na Slici 51.



Slika 51 Sila lijevog unutarnjeg kosog trbušnog mišića

6. SPOZNAJE O UTJECAJU NA TEHNIKU I OZLJEDE

Provedena analiza dobro ilustrira teorijske osnove o pravilnom kružnom udarcu. U svim promatranim odrednicama izvođenja udarca (kutovi zakreta kukova, pozicija koljena udarajuće noge – putanja udarajuće noge, pozicija zdjelice, aktivacija kosog trbušnog mišića te pomicanje težišta) utvrđeno je da postoje razlike kada se pokret izvodi ispravnom tehnikom i kada je ona narušena. Indikator neispravne tehnike bila je stojeća noga, tj. manjak zakreta kuka stojeće noge.

Kružni udarac u taekwondou složen je pokret koji zahtjeva visoku razinu koordinacije i preciznosti kako bi se postigao maksimalni učinak i izbjegao potencijalni nastanak ozljeda. Željeni efekti, ovisno o tome koji se pokret pokušava ostvariti, dobiju se korištenjem cijelog ili djelomičnog kapaciteta raspona pokreta zglobova koji sudjeluju u kretnji [14]. Dakako, ne može se iskoristiti više nego što zglob omogućava. Bez zakreta stojeće noge nije moguće izvesti pravilan kružni udarac.

6.1. Vodilje za učenje i ocjenu tehnike kružnog udarca

Prvi element je zakret stojeće noge. Uz podizanje udarajuće noge, stojeća noga mora se rotirati. Ovo je i glavni uvjet kako bi se ostali elementi uspješno izveli. Stojeću nogu potrebno je zakretati na prednjem dijelu stopala.

Sljedeći element na kojega izravno utječe položaj noge na tlu je zakret zdjelice. Ostajanjem stojeće noge u početnom položaju, tijelo se ne može dovesti u poziciju za kružni udarac. Zdjelicu je, oko noge na tlu, potrebo zakrenuti u poprečnoj ravnini prema naprijed te frontalnoj ravnini prema gore. Zdjelica mora doći u bočni položaj. Tijekom zakreta kuka podiže se i udarajuća noga.

Na Slici 52 i Slici 53 shematski su prikazani krajnji položaj zdjelice u nepravilnom i pravilnom udarcu uz položaj stojeće noge.



Slika 52 Krajnji položaj zdjelice - nepravilni udarac

Iz skice je vidljivo da je u prikazanom pokretu zdjelica ostvarila svoj maksimalni zakret te da iz takve pozicije neće moći omogućiti ekstenziju potkoljenice udarajuće noge u pravom smjeru.



Slika 53 Krajnji položaj zdjelice - pravilni udarac

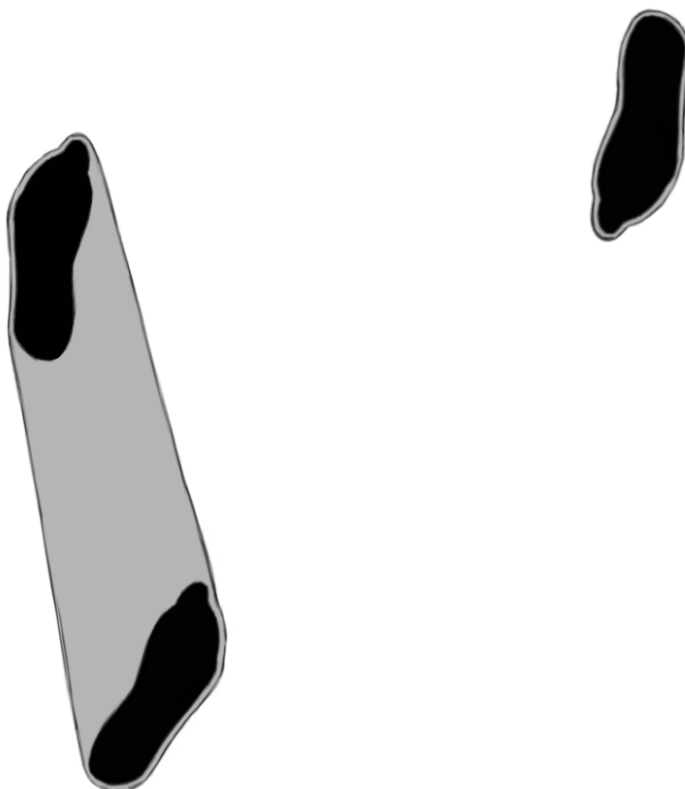
Iz slika su vidljivi efekti korištenja raspoloživog raspona pokreta kuka koji omogućavaju dovođenje tijela u ispravan položaj. Kako bi udarajuća noga mogla biti dovedena u vodoravan položaj, kao što je vidljivo na slici koja ilustrira pravilan udarac, potrebno je okrenuti stojeću nogu tako da su prsti okrenuti u suprotnom smjeru od mete. Okretanjem noge, omogućava se i potreban zakret zdjelice.

Element koji je također praćen provedenom analizom jest zakret kuka udarajuće noge. Ne treba forsirati udarajuću nogu u kružnu putanju zakretom njezinog kuka (u analizi su indikatori toga veća adukcija i unutarnja rotacija kuka pri neispravnom pokretu). Do pozicije za udaranje dolazi se zakretom zdjelice i trupa. Pravilnim zakretom noge na tlu te pravilnim položajem zdjelice otvara se prostor za promjenu visine udarca ili promjenu smjera udarca. Visinom udarca, tj. pomicanjem koljena udarajuće noge upravlja kuk udarajuće noge, dok mijenjanjem smjera upravlja stojeća noga. Pokazatelj pravilnog krajnjeg položaja jest i slobodno kretanje kuka podignute noge u svim smjerovima. Za razliku od ispravnog pokreta, u krivom pokretu femur se na silu primiče središnjoj ravnini tijela te to dovodi nogu u ograničen položaj – niti se noga može dovesti u bočni položaj niti se potkoljenica može pravilno pružiti i zadati udarac.

Utjecaj prethodnih elemenata bit će vidljiv na putanji udarajuće noge. Pravilna kretnja je fluidna, doseg noge je dalji te je moguće dublje prodrijeti u metu kada se pokret izvede pravilno.

Težište tijela pratit će zakret zdjelice. Ravnoteža je vrlo bitna prilikom izvođenja kružnog udarca. Tijelo ostaje oslonjeno na jednu nogu što samo po sebi otežava održavanje ravnoteže, a još treba uzeti u obzir i dinamičnost kretnje – zadavanje udarca. Trup se nagnje prema natrag i težište se pomiče prema natrag jer se površina oslonca smanjuje (stopalo jedne noge prstima okrenuto od mete) te je time teže održati ravnotežu.

Na Slici 54 prikazana je razlika u osloncima u početnom stavu kada su obje noge u kontaktu s tlom te nakon zakreta noge pri udaranju kada je samo jedna noga u kontaktu s tlom. U početnom stavu površina oslonca puno je veća, dok je pri udaranju ona jednaka samo površini jednog stopala.



Slika 54 Oslonac: a) u početnom stavu, b) pri udaranju

Iako je naglasak na kretnji nogu i raspoloživom rasponu pokreta zglobova, pri izvođenju udarca bitno je aktivirati i mišiće trupa koji sudjeluju u podizanju noge i održavanju noge u zraku.

Nekontroliranim „bacanjem“ noge ne dobiva se željeni učinak udarca, a ne prati se ni pravilna tehnika. Mišić čija je aktivacija zabilježena ovom analizom kosi je trbušni mišić.

Prilikom učenja pravilne tehnike, kretnja se može usporiti i razložiti na jednostavnije dijelove kako bi izvođač osvijestio raspon pokreta zglobova u određenim fazama udarca. Ti zasebni dijelovi naknadno se mogu povezati i ubrzati u cjelovit udarac kada izvođač uvježba održavanje ravnoteže na jednoj nozi.

Primjerice, faza prije zakreta noge na tlu može se sastojati samo od podizanja koljena ravno u vis. Visina podignutog koljena određuje visinu udarca. Kada se dostigne željena visina udarca pomoću fleksije kuka, može se započeti s rotacijom stojeće noge uz održavanje visine udarajuće noge. Kada podignuta noga dođe do bočnog položaja, a noga na tlu bude dovoljno zakrenuta može se prijeći na zadavanje udarca fleksijom potkoljenice. Naravno, takvo postupno zadavanje udarca primjenjivo je samo u samim počecima učenja jer je, uz tehniku, udarcem bitno ostvariti i određenu snagu i eksplozivnost.

Kada je izvođač u stanju izvesti sve korake, može prijeći na povezivanje podizanja udarajuće noge uz rotaciju noge na tlu. Udarac time dobije specifičnu kružnu putanju noge.

Udarac je, također, u početku najbolje učiti udaranjem u prazno fokusirajući se na tehniku, kontrolu te brzinu. Nakon toga može se prijeći na mekše jastuke za udaranje. Fokuseri su korisni za treniranje okretnosti i preciznosti na pomičnoj meti [1].

Uz to što navedene odrednice ukazuju na potencijalno nepravilno izvođenje tehnike koje je odmah uočljivo promatranjem izvođača, one utječu i na pomake unutar zglobova koji nisu vidljivi na prvi pogled. Vidljive su tek njihove posljedice koje se nakupljaju tijekom duljeg perioda te već prouzroče problem i ozljedu.

6.2. Povezanost s ozljedama

Dobiveni podatci o položaju zdjelice tijekom nepravilnog podizanja u usporedbi s pravilnim podizanjem udarajuće noge ukazuju na pojavljivanje pokreta koji neprirodno opterećuju koljeno. Dolazi do mehanizama nastanka ozljeda ligamenata uvijanjem opisanog na početku ovoga rada.

Kada zdjelica dosegne svoj maksimalni raspon pokreta (unutarnja rotacija kuka noge na tlu), moment se prenosi dalje na koljeno. Koljeno nema mogućnost rotacije u tom smjeru te se događa naprezanje njegovih ligamenata koje može prouzročiti ozljede.

Ova lančana reakcija prijenosa momenta od ramena, preko trupa i zdjelice pa sve do stojeće noge pokazuje kako upravo koljeno predstavlja prvu najslabiju kariku na tome putu.

Prevenција ozljeda ligamenata koljena zahtijeva razumijevanje pravilne tehnike i primjenu navedenih vodilja. Element koji direktno utječe na prevenciju krivog pokreta i koji će prouzročiti naprezanje koje koljeno ne može podnijeti jest zakret stojeće noge. On omogućuje zdjelici slobodno okretanje u kuku. Time se sprječava prethodno opisana kretnja u kojoj rotaciju, umjesto zdjelice, preuzima koljeno noge na tlu.

Navedene vodilje, osim što će omogućiti razumijevanje pravilne tehnike, pomoći će u otklanjanju nekontaktnih ozljeda jer se njihovom primjenom zaobilaze kritični pokreti koje zglobovi ne mogu izvesti.

7. ZAKLJUČAK

U ovome radu provedena je biomehanička analiza ispravne i neispravne tehnike kružnog udarca. Podatci su prikupljeni pomoću sustava za snimanje pokreta Perception Neuron 2.0 te programa Biomechanics of Bodies za obradu dobivenih podataka. Mjerenja su provedena na jednom ispitaniku s ciljem stjecanja uvida u karakteristike i razlike ispravnog i neispravnog pokreta. Ključna razlika između pravilnog i nepravilnog udarca definirana je zakretom stojeće noge.

Prije same analize, definiran je pojam pravilne tehnike kružnog udarca kroz nekoliko bitnih faza. Također, pružen je uvid u mehanizme ozljeda koljena kao kritičnog mjesta u kretnji te usporedba s mnogo izdržljivijim zglobovima kuka. Kuk u promatranoj kretnji omogućuje veliku slobodu pokreta što je vidljivo u dobivenim podacima. Uz dio o pravilnoj tehnici te anatomiji, opisana je i korištena oprema za snimanje pokreta Perception Neuron 2.0 te program Biomechanics of Bodies.

Poznavajući mehanizme nastanka i faktore rizika, mnogo ozljeda može se prevenirati ili bar značajno ublažiti u samoj fazi učenja. Provedena analiza pruža uvid u razlike između pravilnog i nepravilnog izvođenja tehnike kružnog udarca u taekwondou. Utvrđeno je da postoje razlike u kutovima zakreta kukova, poziciji koljena udarajuće noge, poziciji zdjelice, aktivaciji kosog trbušnog mišića te pomicanju težišta. Glavni element koji definira neispravan udarac, a to je zakret stojeće noge, utječe na sve ostale elemente. Tako u neispravnom slučaju, zbog manjka zakreta, zdjelica se ne može okrenuti u bočni položaj. Nadalje, kuk udarajuće noge pokazuje povećan kut adukcije i unutarnje rotacije kao rezultat pokušaja kompenzacije pokreta. Doseg udarajuće noge skraćen je što je vidljivo iz kraće putanje kod netočne kretnje. Osim promjena u ostvarenim rasponima pokreta zglobova prilikom neispravnog udarca, događa se i promjena kod težišta tijela te kod aktivacije unutarnjeg kosog trbušnog mišića. Putanja težišta tijela ovisit će o zakretu zdjelice te površini oslonca koja je, ponovno, vezana za stojeću nogu. Unutarnji kosi trbušni mišić bit će aktivniji kod pravilnog udarca jer mora održavati udarajuću nogu u zraku dok je tijelo zakrenuto u bočni položaj. Iste spoznaje utvrđene su i kod lijeve i desne noge.

Analiza je potvrdila važnost izvođenja pravilne tehnike, tj. važnost zakreta noge na tlu. Ako noga ostaje u početnom položaju, nije moguće ostvariti ostale faze udarca što se vidi iz razlika u svim promatranim elementima kružnog udarca.

Vodilje koje se mogu izlučiti iz dobivenih podataka prate definiciju pravilne tehnike te su u skladu s njezinim fazama. Udarac se može raščlaniti na nekoliko dijelova kako bi se lakše usvojio te se nakon toga spojiti u cjelovit pokret. Faze se, kao i prema definiciji pravilne tehnike, sastoje od podizanja noge savijene u koljenu uz zakretanje stojeće noge, ekstenzije potkoljenice (zadavanje udarca) te vraćanje u početni stav. Time se mogu otkloniti mehanizmi ozljeda koji nastaju kao posljedica neprirodnih pokreta u zglobovima koljena.

Ovakva analiza pomoću sustava za snimanje pokreta može se primijeniti i na ostale, kompleksnije udarce koji zahtijevaju više koordinacije i preciznosti. Od kružnih udaraca to mogu biti npr. kružni u priskoku, zadnji kružni ili kružni u okretu iz skoka. Složeniji pokreti otvaraju prostor za ozbiljnije greške koje dovode do ozljeda pogotovo kod krivih doskoka, brze izmjene udaraca objema nogama itd.

Važno je razumjeti da pravilna tehnika nije samo pitanje estetike ili natjecateljskih rezultata već i osnovna komponenta sigurnosti, tj. prevencije ozljeda. Ovakav pristup posebno može biti koristan za početnike. Upravo je njima najviše potrebno koncentrirati se na učenje pravilnog pokreta kao temelja za napredovanje i usavršavanje tehnika.

Treninzi koji uključuju analizu pokreta omogućuju sportašima da postanu svjesniji svog tijela i načina na koji se kreću. Stalnim usavršavanjem izvedbe aktivno se može utjecati i na najmanji pokret te tako osigurati dostizanje vrhunskih rezultata uz maksimalnu zaštitu od ozljeda koje nažalost mogu zauvijek prekinuti sportsku karijeru.

LITERATURA

- [1] <https://www.taekwondopreschool.com/roundhouse.html> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [2] Jung T, Park H. (2022). Contributions of body segments to the toe velocity during Taekwondo roundhouse kick. *Applied Sciences*. 12(15),7928. Preuzeto s: <https://doi.org/10.3390/app12157928> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [3] <https://www.tsijournals.com/articles/taekwondo-roundhouse-kick-leg-technique-biomechanical-feature-research-and-application.pdf> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [4] Pieter W. Taekwondo. In: Kordi R, Maffulli N, Wroble RR, Wallace WA., editors. *Combat sports medicine*. Springer; 2009., p. 263–286.
- [5] Ji M. (2016). Analysis of injuries in taekwondo athletes. *Journal of Physical Therapy Science*. 28(1), 231–234. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1589/jpts.28.231> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [6] Čular D, Miletić Đ, Miletić A. (2010). Influence of dominant and non-dominant body side on specific performance in taekwondo. *Kinesiology*. 42(2), 184–193. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/file/94245> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [7] <https://lawofthefist.com/all-taekwondo-kicks/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [8] Milner CE. *Functional Anatomy for Sport and Exercise*. Routledge; 2008.
- [9] <https://teachmeanatomy.info/lower-limb/joints/knee-joint/>, (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [10] Knudson D. *Fundamentals of Biomechanics*. Springer; 2007.
- [11] <https://boneandspine.com/normal-biomechanics-of-knee/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [12] <https://orthofixar.com/special-test/knee-range-of-motion-test/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [13] Woo SL-Y, Debski RE, Withrow JD, Janaushek MA. (1999). Biomechanics of Knee Ligaments. *The American Journal of Sports Medicine*. 27(4), 533–543. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1177/03635465990270042301> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [14] Hazari A, Maiya AG, Nagda TV. *Conceptual Biomechanics and Kinesiology*. Springer; 2021.
- [15] Beaulieu ML, Ashton-Miller JA, Wojtys EM. (2021). Loading mechanisms of the anterior cruciate ligament. *Sports Biomechanics*. 22(1), 1–29. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1916578> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [16] <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/multimedia/acl-injury/img-20008783> (Datum pristupa: 9.11.2024.)

- [17] Popper HR, Fliegel BE, Elliott DM, Su AW. (2023). Surgical Management of Traumatic Meniscus Injuries. *Pathophysiology*. 30(4), 618–629. Preuzeto s: <https://doi.org/10.3390/pathophysiology30040044> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [18] Raj MA, Bubnis MA. (2019). Knee Meniscal Tears. In: StatPearls. StatPearls Publishing. Preuzeto s: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431067/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [19] <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/torn-meniscus/symptoms-causes/syc-20354818> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [20] Fujiya H, Kousa P, Fleming BC, Churchill DL, Beynonn BD. (2011). Effect of Muscle Loads and Torque Applied to the Tibia on the Strain Behavior of the Anterior Cruciate Ligament: An In Vitro Investigation. *Clinical biomechanics* (Bristol, Avon). 26(10), 1005–1011. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.06.006> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [21] <https://orthofixar.com/special-test/hip-range-of-motion-and-biomechanics/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [22] <https://www.enciklopedija.hr/clanak/kuk> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [23] <https://teachmeanatomy.info/lower-limb/joints/hip-joint/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [24] <https://neuronmocap.com/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [25] <https://www.noitom.com/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [26] <https://www.target3d.co.nz/product-page/32-neuron-edition-v2> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [27] https://manual.reallusion.com/Motion_LIVE_Plugin/Content/Motion_LIVE/1/Perception_Neuron_for_iClone.htm (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [28] <https://www.target3d.co.uk/product-page/biomechanics-of-bodies-bob> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [29] <https://www.bob-biomechanics.com/why-bob/> (Datum pristupa: 9.11.2024.)
- [30] <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/internal-abdominal-oblique-muscle> (Datum pristupa: 9.11.2024.)