

# Analiza biomehanike tehnika u sportskim borilačkim kretnjama

---

**Perica, Bartola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:823113>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Bartola Perica**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

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

Student:

Bartola Perica

Zagreb, 2023.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svima koji su mi na bilo koji način pomogli, a posebno mentoru na suradnji.

Bartola Perica



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Bartola Perica** JMBAG: **0035220113**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza biomehanike tehnika u sportskim borilačkim kretnjama**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of biomechanics of techniques in sports martial arts**

Opis zadatka:

Sportske borilačke vještine postaju sve popularnije radi svestrane uloge u razvoju kvaliteta lokomotornog sustava čovjeka, zbog čega programi vježbanja uključuju široku populaciju. Unatoč prednostima, učenje i uvježbavanje borilačkih kretnji – tehnika podrazumijeva usvajanje ispravnih načina izvođenja, jer postoje rizici od ozljeda, osobito uključivanjem u natjecateljske aktivnosti. Nadalje, svaki od borilačkih sportova primjenjuje različite tehnike, iako su im osnove vrlo često iste. Važno je napomenuti da su osnove svih tehnika definirane pravilnom biomehanikom pokreta koja osim učinkovitosti tehnike, podrazumijeva 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. Zbog svega navedenoga je važno poznavati i razumjeti odgovarajuće smjernice za učenje i usavršavanje tehnika koje proizlaze iz ergonomije borilačkih kretnji – tehnika, utvrđenih biomehaničkom analizom.

U radu je potrebno:

- izabrati borilački sport za provedbu biomehaničke analize borilačkih kretnji – tehnika uz obrazloženje izbora i temeljnih principa izabranog sporta;
- izabrati grupu tehnika koje najčešće uzrokuju ozljede zbog nepravilnosti izvedbe tehnike;
- prikazati pravilnosti izabranih tehnika s osvrtom na nepravilnosti i posljedične ozljede;
- izvršiti biomehaničku analizu izabranih tehnika s ciljem utvrđivanja smjernica za prevenciju od ozljeda i uvježbavanje ispravnih tehnika;
- raspraviti utvrđene smjernice za prevenciju od ozljeda i uvježbavanje ispravnih tehnika.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.  
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.  
3. rok: 18. 9. 2023.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.  
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.  
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
1. UVOD.....	1
2. OSNOVNO O TAEKWONDOU .....	2
3. KRUŽNI UDARAC .....	6
3.1. Pravilno izvođenje tehnika.....	6
3.1.1. Pravilan stav.....	7
3.1.1.1. Prednji stav.....	7
3.1.1.2. Zadnji stav.....	8
3.1.1.3. Borbeni stav .....	9
3.1.2. Zakret noge .....	9
3.1.3. Podizanje koljena .....	10
3.1.4. Okret kukova.....	10
3.1.5. Područje stopala kojim se udara.....	10
3.1.6. Dovoljno dubok udarac/dovoljno jak zamah nogom .....	10
3.2. Česte pogreške i nepravilnosti prilikom izvođenja tehnika .....	10
3.2.1. Nepravilan stav .....	11
3.2.2. Netočan/nedovoljan zakret noge prilikom udaranja .....	13
3.2.3. Nepotpuna rotacija kukova .....	13
3.2.4. Prevelika rotacija tijela tijekom i nakon udarca.....	14
3.2.5. Prevelik luk udarajućom nogom .....	14
4. OZLJEDE KOLJENA .....	15
4.1. Ozljede nastale preopterećenjem .....	15
4.1.1. Ruptura prednjeg križnog ligamenta.....	17
4.1.2. Ruptura stražnjeg križnog ligamenta .....	18
4.1.3. Ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta .....	19
4.1.4. Ruptura medijalnog ili lateralnog meniskusa .....	20
4.2. Ozljede nastale prenaprežanjem.....	21
4.2.1. Patelarni tendinitis .....	22
4.2.2. Iščašenje patele .....	23
5. BIOMEHANIČKA ANALIZA KRUŽNOG UDARCA.....	25
5.1. Biomehanika ozljede prednjeg križnog ligamenta.....	26
5.2. Biomehanika ozljede stražnjeg križnog ligamenta .....	29
6. PREVENCIJA OZLJEDA.....	31
7. ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA.....	34

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Faze kružnog udarca [8].....	6
Slika 2 Pravilan prednji stav [12], [11] .....	8
Slika 3 Pravilan zadnji stav [12], [13].....	8
Slika 4 Pravilan borbeni stav [12], [14] .....	9
Slika 5 Pravilan zakret noge [15] .....	10
Slika 6 Zadnji stav: a) pravilan, b) nepravilan [16].....	11
Slika 7 Prednji stav: a) pravilan, b) nepravilan [16] .....	12
Slika 8 Položaj kukova: a) pogrešan, b) pravilan, c) pogrešan [16].....	12
Slika 9 Nedovoljan zakret stojeće noge [16].....	13
Slika 10 Anatomija koljena [22] .....	16
Slika 11 Meniskus [23] .....	17
Slika 12 Ruptura prednjeg križnog ligamenta [27] .....	18
Slika 13 Ruptura stražnjeg križnog ligamenta [29].....	19
Slika 14 Ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta [31] .....	20
Slika 15 Ruptura meniskusa [32] .....	20
Slika 16 Iver ili patela [34].....	21
Slika 17 Patelarni ligament [36].....	22
Slika 18 Patelarni tendinitis [39].....	23
Slika 19 Iščašenje patele [42].....	24
Slika 20 6 stupnjeva slobode gibanja koljena [43].....	25
Slika 21 Fleksija i ekstenzija koljena [44] .....	26
Slika 22 Zakretanje tibije i femura – ozljeda prednjeg križnog ligamenta [45].....	27
Slika 23 Položaj stojeće noge: a) nepravilan, b) pravilan .....	28
Slika 24 Stražnji križni ligament: a) prirodni položaj, b) ruptura [46] .....	29
Slika 25 Položaj udarajuće noge: a) nepravilan, b) pravilan.....	30

**SAŽETAK**

U ovom radu, cilj je analizirati biomehaniku tehnika u sportskim borilačkim kretnjama i time utvrditi mehanizme nastanka ozljeda u svrhu njihove prevencije. Za provedbu biomehaničke analize izabran je taekwondo, a provedena je na primjeru najčešće korištenog udarca u taekwondou, kružnog udarca. Opisuje se pravilno izvođenje tehnika uz osvrt na česte pogreške, a fokus je na koljenom zglobu zbog bitne uloge njegove anatomije u kretnjama i izloženosti ozljedama koje mogu dovesti i do trajnih, ozbiljnih oštećenja struktura u koljenu kao što su rupture ligamenata. Nakon osvrta na najčešće nepravilnosti kod izvođenja pokreta, detaljno se analizira svaki pojedini element ključan za pravilnu izvedbu kružnog udarca u cjelini. Pogreška u jednom elementu narušava kvalitetu cjelokupne izvedbe što s vremenom može dovesti do ozljeda. Iako su ozljede u svakom sportu, a posebno u borilačkim sportovima, neizbježne, potrebno ih je barem svesti na minimum, a to se, uz kvalitetno zagrijavanje i istežanje, postiže upravo temeljitim učenjem i uvježbavanjem te izvedbom pravilnih tehnika.

Ključne riječi: taekwondo, kružni udarac, koljeno, biomehanika



---

**SUMMARY**

In this paper, the goal is to analyze the biomechanics of sport techniques used in martial arts and to determine the mechanisms of injuries for the purpose of their prevention. Biomechanical analysis was performed on one of the most commonly used kick in taekwondo, the roundhouse kick. The proper execution of techniques is described along with common mistakes, and the focus is on the knee joint due to the essential role of its anatomy in movements and its exposure to injuries that can lead to permanent, serious damage to structures in the knee such as ruptured ligaments. After looking into the most common mistakes in movements, each individual element, crucial for the proper execution of the roundhouse kick as a whole, is analyzed in detail. A mistake in only one of the steps negatively affects the quality of the overall performance, which can eventually lead to injuries. Although, injuries are inevitable in every sport, and especially in martial arts, it is necessary to at least reduce them to a minimum, and this, along with effective warm-up and stretching, is achieved by learning, practicing and performing proper techniques.

Key words: taekwondo, roundhouse kick, knee, biomechanics

## **1. UVOD**

Zbog mnogobrojnih dobrobiti za tjelesno i psihičko zdravlje, bavljenje sportom danas se više nego ikad preporučuje svima, no osim zdravog života u obzir treba uzeti i neželjene ozljede profesionalnog ili rekreativnog sportaša koje za posljedicu mogu imati i trajno uklanjanje sa sportskih terena te znatno narušenu kvalitetu života. Potrebna je konstantna edukacija o mehanizmima ozljeđivanja i pravilno izvođenje vježbi. [1]

Budući da je taekwondo dinamički, kontaktni sport u kojem se najviše koriste nožne udaračke tehnike pri kojima je bitna koordinacija cijelog tijela, ali posebice stopala, kuka i koljena, upravo su ti dijelovi tijela najviše podložni ozljedama. [2] Od spomenutih dijelova tijela koji sudjeluju u kretanjama, u ovom radu istaknut će se i obraditi koljeni zglob zbog svoje anatomske ograničenosti pokreta primarno na sagitalnu ravninu, a istovremeno velike uloge u ispravnom zadavanju udaraca te ozbiljnosti njegovih ozljeda koje mogu nastati.

S tim ciljem u ovom će se radu analizirati biomehanika koljena u taekwondo sportu s prikazom najčešćih ozljeda koljenog zgloba kod taekwondoista i uzroka koji dovode do ozljeda te će se dati smjernice za njihovu prevenciju.

## 2. OSNOVNO O TAEKWONDOU

Taekwondo je suvremeni borilački sport nastao transformacijom starih korejskih vještina samoobrane. Taekwondo, kakav danas poznajemo, korijene uglavnom vuče od 40-ih godina dvadesetog stoljeća, no povijest ove korejske vještine seže čak u 3. stoljeće p.n.e. Iz tog razdoblja datiraju najstariji dokazi – kipovi i slike pronađeni u grobnici dinastije Muyong Chong koji prikazuju ratnike u borbenim pozama. Samo ime taekwondo dolazi iz riječi Tae (태, hanja 跆), što u slobodnom prijevodu znači skočiti i zadati udarac nogom, Kwon (권, hanja 拳) što znači šaka, a Do (도, hanja 道) je princip, umijeće ili put. Stoga, u slobodnom prijevodu riječ taekwondo znači „vještina borenja rukama i nogama“. [3]

Iako će mnoge taekwondo ponajprije asociirati na različite akrobacije koje završavaju moćnim udarcima, u prvom redu nogama, taekwondo je puno više od atraktivnosti izvedbe – vrlo zahtjevan i kompleksan sport koji traži puno odricanja i vježbe kako bi se i one najosnovnije tehnike izvele ispravno. Danas se taekwondo smatra jednim od najpopularnijih borilačkih vještina i sportova, a broj vježbača u svijetu se procjenjuje na više od 40 milijuna. Popularnosti ovoga sporta pridonijelo je i to što je od 2000. godine taekwondo punopravni dio olimpijskih igara (XXVII Olimpijske igre – Sydney). [3]

Taekwondo je vrlo složena vještina s točno definiranom tehnikom, metodom rada, terminologijom, sportskim i moralnim pravilima. Za potrebe ovoga rada kratko su navedene osnovne tehnike i vrste udaraca s naglaskom na udarce nogom. Naime, ono po čemu se taekwondo razlikuje od ostalih borilačkih sportova i vještina jest upravo razvijenost nožnih tehnika u skoku. Uz to, taekwondo je prvenstveno kontaktni sport, a upravo zbog elementa kontakta, ali i zbog složenosti izvođenja tehnika udaraca i kretnji u borbi, uz sve opće i specifične, vanjske i unutarnje čimbenike rizika na treningu i na natjecanju, ozljede su vrlo moguće. Iz tog razloga nužno je djelovati preventivno. Prevencijom smanjujemo ozbiljnost potencijalne ozljede, skraćujemo vrijeme oporavka i ubrzavamo povratak sportaša punom opsegu treninga pod punim opterećenjem. [2]

Taekwondo se dijeli na pet sastavnih dijelova:

1. Osnove (*Kibon*)
2. Forme (*Poomsae*)
3. Samoobrana (*Hosinsul*)
4. Lomljenje (*Kyokpa*)
5. Borba (*Kyorugi*) [4]

Osnove taekwondo dijelove se na:

- a) stavove (npr. jahaći stav – *juchun seogi*, prednji stav – *ap kubi* ili zadnji stav – *dwit kubi*),
- b) blokade (npr. gornja blokada – *olgul makki* ili donja blokada – *arae makki*),
- c) udarce rukom (npr. udarac šakom – *jumok jirugi* ili udarac vanjskim bridom dlana – *sonnal chigi*), te
- d) udarce nogom (npr. kružni udarac – *dollyo chagi* ili bočni udarac – *yop chagi*). [4]

Forme su koreografirane borbe protiv zamišljenog napadača. Vježbač ih izvodi sam s ciljem razvijanja ravnoteže i usavršavanja osnovnih tehnika. Većina taekwondo sportaša danas vježba forme WT-a (World Taekwondo) ili forme ITF-a (International Taekwon-Do Federation). WT taekwondo sadrži osam učeničkih formi za niže pojaseve (taeguk poomsae) i devet majstorskih formi za crne pojaseve (yudanja poomsae). Neki klubovi još podučavaju forme palgwae, koje su razvijene u isto vrijeme kad i majstorske forme, ali velika većina klubova koristi novije i modernije forme taeguk. [4]

ITF sadrži 24 forme, po jednu za svaki sat u danu, a razvio ih je general Choi, Hong Hi, osnivač vještine ITF Taekwon-do. Ove su forme starije od WT forma i još uvijek su vrlo popularne i izvan ITF-a. [4]

Izvođenje formi danas je međunarodni sport, i većina zemalja ima tehničke reprezentacije koje se natječu u izvođenju formi. [4]

Samoobrana nije standardizirana i ovisi o instruktoru, a sastoji se od udaraca rukama, nogama, laktovima, koljenima, zahvata i poluga na rukama i nogama, gušenja, bacanja, itd. Tehnike samoobrane koriste se u situacijama kada ne postoji dovoljna distanca ili su standardne tehnike taekwondo nepraktične, primjerice kod napada oružjem. [4]

Demonstracije lomljenja provjera su snage i preciznosti. Točno plasiranim udarcima vježbač nastoji slomiti predmete poput dasaka, crijepova, cigli ili palica. Demonstracije lomljenja uglavnom se izvode kao dio prezentacija taekwondoa i prilikom polaganja za više pojaseve. [4]

Zadnji i po mnogima najvažniji dio taekwondoa je borba. Ovu kategoriju ugrubo možemo podijeliti na dogovorenu borbu (borba na jedan, dva ili tri koraka, te borbene vježbe sa ili bez štitnika) i slobodnu borbu (sa ili bez štitnika) koja je ujedno najpopularniji oblik taekwondoa. [4]

U borbama taekwondoa koriste se ručne i nožne udaračke tehnike, ali ne i hosinsul bacanja, čišćenja ili gušenja. [4]

U slučaju olimpijske borbe po WT pravilima, radi se o borbi po pravilima full contacta, sa štitnicima i o međunarodnom sportu koji je predstavljen na Olimpijskim igrama. Međunarodna federacija taekwondoa (ITF) ima svoja pravila, s kontroliranim kontaktom, bez štitnika, ali i s većim brojem dozvoljenih tehnika. [4]

Borba se odvija na borilištu u obliku oktagona dimenzija 8x8 metara, u nazočnosti glavnog suca na tatamiju (borilačka podloga) i 3 pomoćna izvan borilišta. Udarci se postižu nogom u predio trupa (zaštićen okloпом) i predio glave (zaštićen kacigom) te šakom u predio trupa. Udarci nogom u oklop nose dva boda, a u glavu tri boda. Udarci iz okreta boduju se s dodatnih dva boda. Udarac šakom boduje se jednim bodom. Trajanje borbe za seniore je 3x2 min s pauzom između rundi koja traje jednu minutu. Natjecatelji su podijeljeni po dobnim skupinama (mlađi kadeti, kadeti, juniori i seniori) i težinskim kategorijama (u seniorskom uzrastu je osam muških i osam ženskih kategorija) tj. četiri muške i četiri ženske olimpijske kategorije. [5]

Kao što je već navedeno, ono po čemu se taekwondo razlikuje od ostalih borilačkih sportova jest upravo razvijenost nožnih tehnika u skoku. Ta se vještina dovodi do savršenstva satima i satima rada i vježbanja, a kod samog izvođenja polazišta mogu biti iz raznih stavova:

- a) Stojećeg stava
- b) Iz hodanja
- c) Iz priskoka
- d) Iz skoka
- e) U okretu [6]

Od osnovnih napadačkih tehnika u taekwondou dva su najzastupljenija udarca:

- a) Kružni udarac: Zbog svoje jednostavnosti i primjenjivosti u različitim situacijama, kružni udarac nogom najčešće je korišten udarac na taekwondo natjecanju. Izvodi se na način da prvo podignemo udarnu nogu pogrčenu u koljenu, zatim se okrenemo na stažnoj nozi za 45-180 stupnjeva i opružanjem potkoljenice zadamo udarac rustom stopala u trup ili glavu. [7]
- b) Stražnji udarac: Drugi najzastupljeniji udarac stražnji je udarac nogom. Namijenjen je za napad i kontra napad, kad natjecatelj procijeni da je smanjena opasnost od okretanja leđa protivniku. U napadu stražnji udarac nogom mora biti dugačak, a u kontra napadu kratak i brz. Izvodi se na način da se zarotiramo na prednjoj nozi i podignemo udarnu nogu pogrčenu u koljenu. Zatim pogledamo preko ramena na strani udarne noge i opružanjem potkoljenice zadamo udarac petom. [7]

Ozljede koljena u taekwondou najčešće nastaju zbog nepravilne ili prekomjerne kretnje u zglobu koljena te nepravilnih struktura kretanja, kontaktnih karakteristika sporta, slabosti mišićnog tonusa, grešaka u treningu, neprikladne podloge, pada, nepravilne tehnike izvođenja udaraca, pogotovo onih koji uključuju rotaciju itd. [2] Upravo je kružni udarac taj koji uključuje element rotacije i sadrži velik broj čimbenika rizika za ozljedu koljena.

### 3. KRUŽNI UDARAC

#### 3.1. Pravilno izvođenje tehnika

Kada je riječ o pravilnom izvođenju kružnog udarca, treba obratiti pozornost na svaki korak počevši od pravilnog stava jer postoje detalji u svakoj fazi koji mogu uvelike utjecati na to koliko je dobro izveden udarac.

Kružni udarac ( 돌려차기 dollyeo-chagi ) možemo podijeliti u 3 faze:

1. faza, početna faza: iz početnog stava udarna noga pogrčena u koljenu pod 90 stupnjeva podiže se do razine struka, dok se na stojećoj nozi kukovi i tijelo okreću za 45-180 stupnjeva
2. faza, faza udarca: kada su koljeno i stopalo udarne noge u istoj liniji s petom stojeće noge pokazujući na cilj, kružni udarac nastavlja se opružanjem potkoljenice, uz plantarnu fleksiju, ristom te ponovnim grčenjem potkoljenice
3. faza, završna faza: noga i stopalo istim se putem vraćaju u početni stav [8]

Na Slici 1 prikazane su navedene faze kružnog udarca.



Slika 1 Faze kružnog udarca [8]

Da bi se izbjegle ozljede, prilikom izvođenja udarca potrebno je pripaziti na sljedeće elemente:

- a) Pravilan stav
- b) Zakret noge
- c) Podizanje koljena
- d) Okret kukova
- e) Područje stopala kojim se udara
- f) Dovoljno dubok udarac/dovoljno jak zamah nogom [9]

### 3.1.1. *Pravilan stav*

Stavovi u taekwondou temelj su za sve pokrete napada i obrane. Pravilan stav ključan je za točno izvođenje bilo kojeg udarca nogom, šakom ili bloka u taekwondou. Elementi pravilnog stava o kojima treba voditi računa su:

- a) Položaj stopala: Prva stvar na koju treba paziti u stavu je položaj stopala. Primjerice, u borbenom stavu stopala moraju biti postavljena u širini ramena, ali svaki pojedini stav ima posebna pravila. Ako položaj stopala previše odstupa od ispravnog položaja, tj. ako su stopala postavljena predaleko ili preblizu, to utječe na usporavanje reakcije udarca i ograničenje pravilnog izvođenja. [9]
- b) Savijene noge u koljenu: U svakom od stavova potrebno je dovoljno saviti noge u koljenu. Kao i kod položaja stopala, svaki stav ima posebna pravila. Pravilan položaj koljena osigurava visinu, brzinu i pravilnost udarca. [9]
- c) Jagodice/prednji dio stopala: Da bi se zadao udarac, noga na tlu koja služi za okretanje ostatka tijela mora biti oslonjena na prednji dio stopala tj. na jagodice stopala. To omogućava brzo okretanje i bolju kontrolu. [9]

Pravilna tehnika izvođenja stavova i prethodno navedeni ključni elementi prikazat će se na primjerima sljedećih stavova: prednjeg, zadnjeg i borbenog stava.

#### 3.1.1.1. *Prednji stav*

Prednji stav ofenzivni je stav kod kojeg se težište tijela nalazi na prednjoj nozi i jedan je od najbitnijih tehnika koju početnici moraju svladati. [10]

U ovom stavu, prednja noga je u iskoraku i u koljenu savijena pod 90 stupnjeva, dok stražnja noga ostaje ravna sa stopalom zakrenutim 30 stupnjeva prema vanjskoj strani. [11]

Na Slici 2 prikazan je pravilan prednji stav te pravilan položaj stopala uz raspodjelu težine tijela.





Slika 2 Pravilan prednji stav [12], [11]

### 3.1.1.2. Zadnji stav

U zadnjem stavu stopala su postavljena u obliku slova L s nogama savijenim u koljenu – prsti prednje noge okrenuti su prema naprijed, a stopalo stražnje noge rotirano je 90 stupnjeva prema vanjskoj strani. [10]

Kao i kod prednjeg stava, težina tijela nije jednoliko raspoređena na obje noge. U ovom, pretežito defanzivnom, stavu težište tijela nalazi se na stražnjoj nozi. [10]

Na Slici 3 prikazan je pravilan zadnji stav te pravilan položaj stopala uz raspodjelu težine tijela.



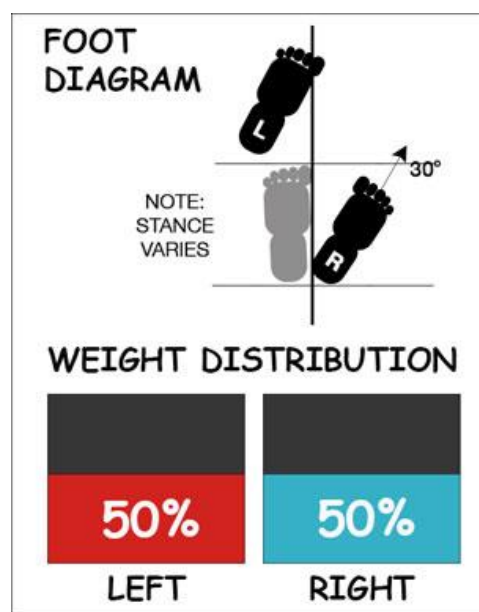
Slika 3 Pravilan zadnji stav [12], [13]

### 3.1.1.3. Borbeni stav

Ovaj stav koristi se većinom u borbama, ali i za tehnike kao što su samoobrana, lomljenje daski itd. [14]

U borbenom stavu tijelo je zakrenuto u stranu i štićeno rukama, noge su postavljene u širini ramena, blago savijene u koljenima radi bolje ravnoteže i okretnosti dok se stopala nalaze pod kutem od 30 stupnjeva. Težina tijela podjednako je raspoređena na obje noge. [14]

Na Slici 3 prikazan je pravilan borbeni stav te pravilan položaj stopala uz raspodjelu težine tijela.



Slika 4 Pravilan borbeni stav [12], [14]

### 3.1.2. Zakret noge

Nakon pravilnog stava, točan zakret noge, odnosno stopala na tlu, sljedeći je korak u dobrom izvođenju kružnog udarca u taekwondou. Bez pravovremenog zakreta stojeće noge ne može se pravilno okrenuti kuk, a time ni pravilno zadati udarac. Noga na tlu rotira se na prednjem dijelu stopala za 45-180 stupnjeva, odnosno dok prsti nisu okrenuti od cilja. [9], [8]

Slikom 5 prikazan je pravilan zakret noge kod izvođenja kružnog udarca.



**Slika 5 Pravilan zakret noge [15]**

### **3.1.3. Podizanje koljena**

Još jedan važan element pravilnog udarca je dovoljno podignuto koljeno noge koja izvršava udarac. Visina podignutog koljena određuje visinu udarca. Podizanjem koljena do struka osigurava se udarac u visini protivnikova torza, a podizanjem koljena do prsa udarac može dosegnuti i protivnikovu glavu. [9]

### **3.1.4. Okret kukova**

Okretanje kukova daje kružnom udarcu potrebnu lučnu putanju. Ako se kukovi dovoljno ne okrenu, udarac gubi na brzini i snazi. Također, nedovoljno okrenuti kukovi rezultiraju udarcima bočnom stranom noge, što je netočno. [9]

### **3.1.5. Područje stopala kojim se udara**

Udarac mora biti zadan punim gornjim dijelom stopala, ne prstima, da bi se ostvarila dovoljna sila udarca i da ne bi došlo do ozljeda, pogotovo ako noga dođe u kontakt s protivnikovim laktom ili koljenom. [9]

### **3.1.6. Dovoljno dubok udarac/dovoljno jak zamah nogom**

Nije dovoljno nogom gađati samo u površinu mete, završetak udarca mora biti u točki nakon cilja. Noga s kojom se udara mora proći kroz metu. Time se osigurava maksimalna snaga udarca. Na takav način se razbijaju npr. daske na polaganjima za crni pojas. [9]

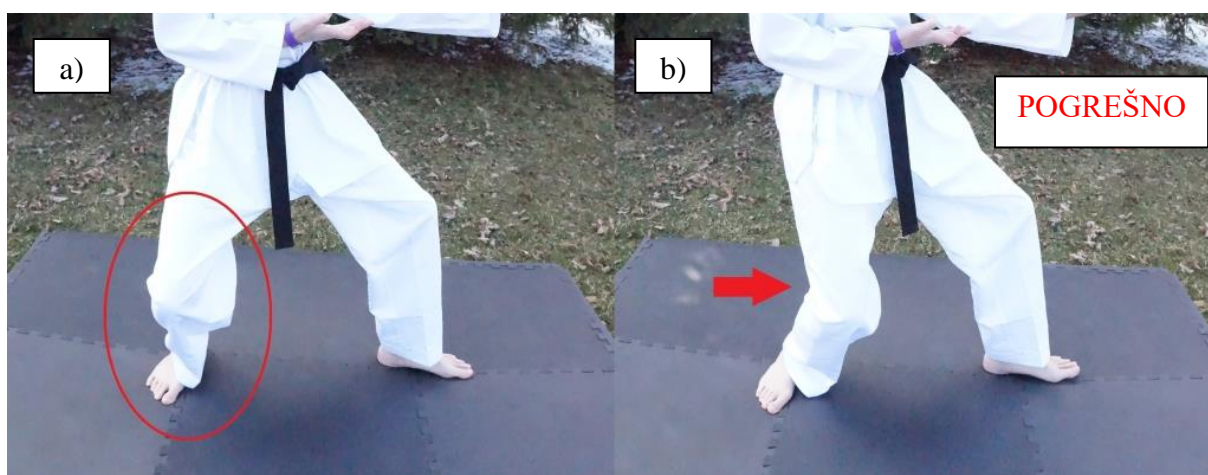
## **3.2. Česte pogreške i nepravilnosti prilikom izvođenja tehnika**

Nakon navedenih bitnih elemenata izvođenja kružnog udarca treba se osvrnuti i na moguće nepravilnosti i greške koje mogu imati za posljedicu ozljede.

### 3.2.1. Nepravilan stav

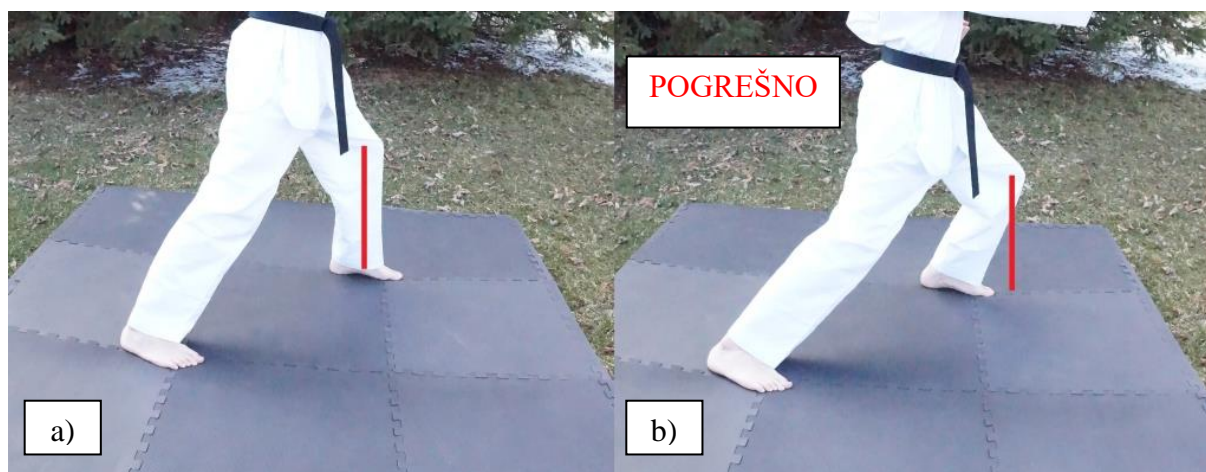
Kao što je već navedeno u prethodnom poglavlju, pravilan stav osnova je za svaki pokret u taekwondou i prvo treba obratiti pozornost na njegovo pravilno izvođenje. Greška koje se često pojavljuje, a tiče se prednjeg, zadnjeg i borbenog stava nepravilan je i neprirodan položaj prednjeg i/ili stražnjeg koljena koji može stvoriti nepoželjno opterećenje na unutarnje dijelove koljena i time izazvati ozljedu. U navedenim stavovima noga u koljenu ne bi smjela biti savijena više od 90 stupnjeva. [16]

U zadnjem stavu, koljeno i prsti stražnje noge moraju biti usmjereni u istom smjeru. Na Slici 6 a) prikazan je ispravan položaj koljena koji daje dobru potporu cijelom tijelu, a na Slici 6 b) prikazan je pogrešan položaj koljena koje ne gleda u smjeru prstiju što uzrokuje opterećenje na unutarnjem dijelu koljena, u smjeru u kojem se noga u koljenu ne može saviti, i time se narušava stabilnost cijelog stava. Takvo opterećenje posebno je opasno ako mu je koljeno dugoročno izloženo. [16]



Slika 6 Zadnji stav: a) pravilan, b) nepravilan [16]

U prednjem stavu treba pripaziti na položaj koljena prednje noge. Noga u koljenu ne smije biti savijena više od 90 stupnjeva i koljeno ne smije biti nagnuto prema naprijed tako da prelazi nožne prste kao što je prikazano na Slici 7 b). Slikom 7 a) prikazan je pravilan položaj koljena u prednjem stavu. [16]

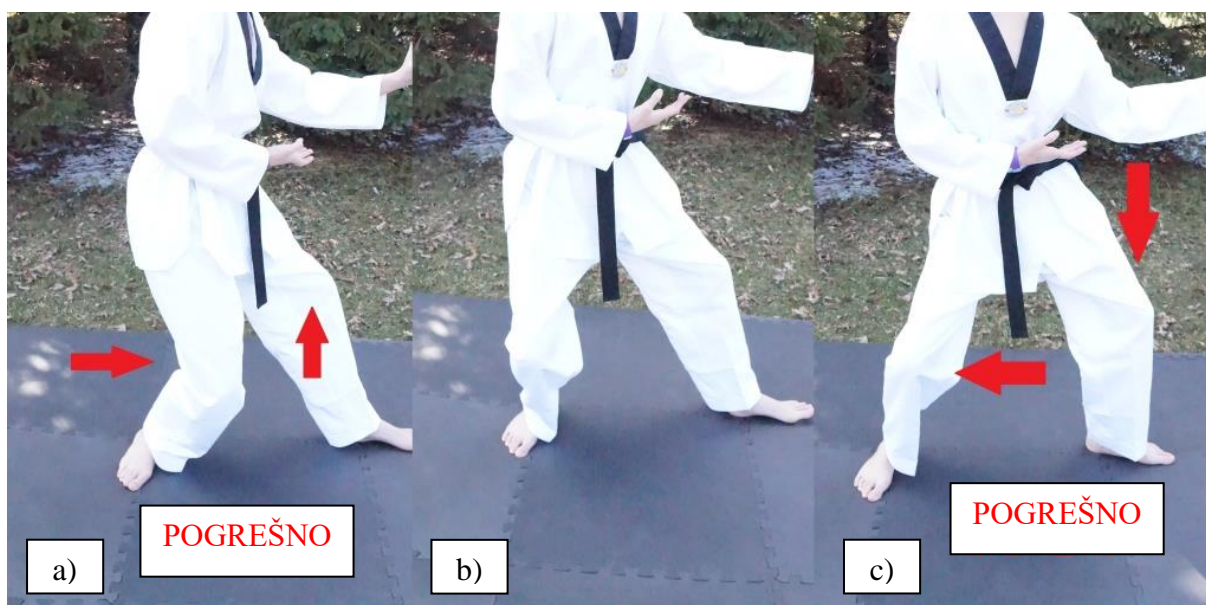


**Slika 7 Prednji stav: a) pravilan, b) nepravilan [16]**

Isto vrijedi i za borbeni stav. Iako je položaj nogu malo slobodniji od onog u prednjem i zadnjem stavu i češće se mijenja tijekom borbe, treba pripaziti da položaj koljena bude u istom smjeru u kojem su i prsti i da se noge u koljenu ne savijaju više od 90 stupnjeva. [16]

Osim navedenog, u stavu treba pripaziti i na položaj kukova koji treba biti u istom smjeru u kojem su i koljena. Pritisak na koljena mijenja se ovisno o rotaciji kukova i ramena kao što je prikazano na Slici 8. [16]

Na Slici 8 a) prikazan je nepravilan položaj kukova u stražnjem stavu koji rezultira opterećenjem na unutarnji dio stražnjeg koljena te na vanjski dio prednjeg koljena, dok je na Slici 8 c) imamo suprotnu situaciju. Na Slici 8 b) prikazan je ispravan položaj kukova. [16]



**Slika 8 Položaj kukova: a) pogrešan, b) pravilan, c) pogrešan [16]**

### 3.2.2. *Netočan/nedovoljan zakret noge prilikom udaranja*

Kao i nepravilan stav, nepravilan zakret noge prilikom udaranja također može prouzročiti nepoželjno opterećenje na koljena. Postoji mnogo načina na koje se može zadati udarac – s mjesta zadnjom nogom, prednjom nogom, u priskoku, u tijelo, u glavu itd. i za svaku tehniku se zasebno trebaju naučiti pravila i primijeniti ih u svakom izvođenju. [16]

Prilikom izvođenja kružnog udarca, bilo to prednjom ili zadnjom nogom, iz početnog stava potrebno je, kako je i navedeno u poglavlju o pravilnom izvođenju kružnog udarca, u potpunosti zarotirati nogu koja ostaje na tlu. Česta je greška nedovoljan zakret stojeće noge koji rezultira pozicijom tijela iz koje je teško zadati udarac, odnosno izvodi se nepravilan udarac koji može dovesti do ozljede. [16]

Na Slici 9 prikazan je nedovoljan zakret stojeće noge koji uzrokuje nepoželjno opterećenje i zakretanje koljena. [16]



Slika 9 Nedovoljan zakret stojeće noge [16]

### 3.2.3. *Nepotpuna rotacija kukova*

Prethodno navedeni nepravilan stav u kombinaciji s nedovoljnim zakretanjem noge na tlu rezultira nedovoljnom rotacijom kukova te samim time i nepravilan udarac koji opterećuje i koljeno stojeće i koljeno udarajuće noge. Također, ne osigurava puni potencijal udarca.

Kukovi, ramena, koljeno i gležanj moraju se nalaziti u istoj ravnini. [17]

#### **3.2.4. Prevelika rotacija tijela tijekom i nakon udarca**

Česta pogreška, u pokušaju da se ostvari snažniji udarac, prevelika je rotacija tijela, ali snaga i brzina udarca dolaze iz brzine i eksplozivnosti pokreta noge iz kuka, a ne okretanja gornjeg dijela tijela. Ova pogreška usko je vezana s nepravilnom rotacijom kukova i rezultira sličnim ozljedama. [17]

#### **3.2.5. Prevelik luk udarajućom nogom**

Prilikom izvođenja bilo kojeg udarca pa tako i kružnog treba pratiti sva pravila i uvježbane tehnike kako bi se ostvario maksimalan učinak. Kod kružnog udarca treba precizno podignuti i namjestiti nogu te nakon toga izbjegavati preširoko zamahivanje noge već čvrsto i kontrolirano gađati u metu. [17]

Neprecizni i nedovoljno čvrsti udarci mogu imati negativan utjecaj na koljeno udarajuće noge.

## **4. OZLJEDE KOLJENA**

Koljeno je najveći zglob u ljudskom tijelu, ujedno najveći zglob mišićno-koštanog sustava, koji podupire tjelesnu težinu i olakšava kretanje. Sastoji se od dva različita dijela – tibiofemoralnog i patelofemoralnog zgloba. Tibiofemoralni zglob jedan je od najsloženijih zglobova u ljudskom tijelu, a njegovi glavni dijelovi su femur (bedrena kost), tibia (goljениčna kost), fibula (lisna kost), zglobne hrskavice, meniskusi i ligamenti. [18], [19]

Iako je koljeno kompleksan zglob, ozljede koljena prilikom izvođenja spomenutih tehnika možemo svrstati u dvije kategorije: one nastale naglo, preopterećenjem i prenaprezanjem odnosno krivim izvođenjem pokreta tijekom duljeg vremena. [16]

Ozljede koljena mogu se dogoditi i na stojećoj i udarajućoj nozi. Stojeća noga pati kada se zglob koljena zakrene prilikom izvođenja kružnog udarca, dok se kod udarajuće noge može dogoditi hiperekstenzija zbog npr. preteške vreće za udaranje ili nepravilnim udaranjem u zamišljenu metu u prazno. [20]

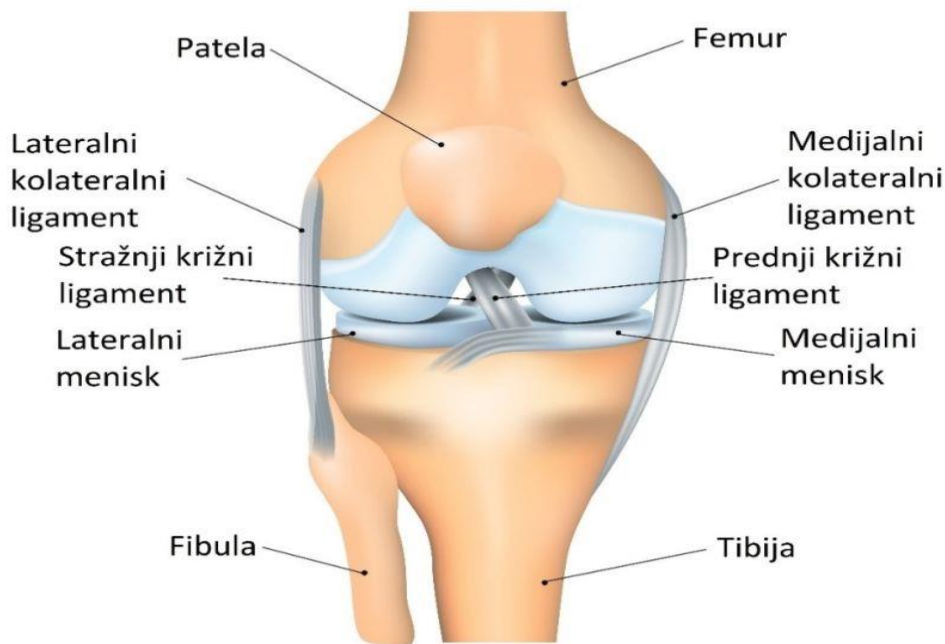
### **4.1. Ozljede nastale preopterećenjem**

Ozljede nastale preopterećenjem uzrokovane su vanjskom silom, zbog pada ili udarca, ili unutarnjom silom, zbog pogrešnog pokreta. One su ozbiljnije i zahtijevaju rehabilitaciju, a često i operaciju. Pod ove ozljede ubrajamo rupturu prednjeg križnog ligamenta, stražnjeg križnog ligamenta, medijalnog kolateralnog ligamenta te medijalnog ili lateralnog meniskusa. [21]

Stabilnost zglobu omogućuju ligamenti koji pričvršćuju bedrenu kost s potkoljениčnom kosti. [18] Razlikujemo četiri ligamenta koja djeluju u parovima. Prednji i stražnji križni ligamenti su dva kratka i jaka ligamenta koja se križaju jedan ispred drugoga u sredini zgloba. Izvan zgloba koljena nalaze se lateralni i medijalni kolateralni ligament. Svaki ligament kontrolira prekomjerno gibanje zgloba prema njegovoj orijentaciji i mjestu pričvršćenja. [19]

Slikom 10 prikazana je anatomija koljena.





**Slika 10 Anatomija koljena [22]**

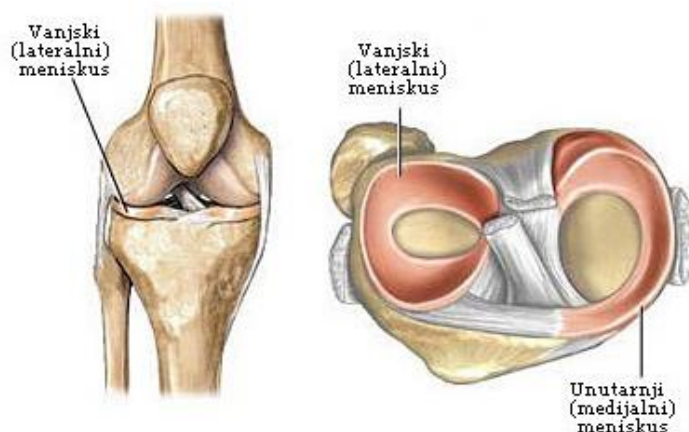
Prednji križni ligament djeluje u posterolateralnom smjeru i to od prednje strane međuzglavčane uzvisine tibije prema medijalnoj strani lateralnog zaglavka femura. Stražnji križni ligament djeluje u anteromedijalnom smjeru – od stražnje strane međuzglavčane uzvisine tibije prema lateralnoj strani medijalnog zaglavka femura. Primarne uloge prednjeg i stražnjeg križnog ligamenta jesu sprječavanje prednjeg i stražnjeg klizanja tibije. Budući da je tibijin plato relativno ravan djelovanjem prednjeg i stražnjeg križnog ligamenta održava se čvrstoća (cjelovitost) zgloba kada mišićne sile nastoje pomaknuti tibiju na femur. Križni ligamenti također onemogućuju aksijalnu rotaciju tibije, pri čemu prednji križni ligament onemogućuje unutarnju rotaciju, a stražnji križni ligament vanjsku rotaciju. [19]

Prednji križni ligament je ligament koljena koji se najčešće ozljeđuje kod sportaša i to obično u situaciji koja ne uključuje fizički kontakt. [19]

Medijalni i lateralni kolateralni ligamenti leže izvan zglobne čahure, na medijalnom i lateralnom dijelu koljena. Medijalni kolateralni ligament se proteže od medijalnog epizaglavka femura do medijalnog zaglavka tibije, a lateralni kolateralni ligament od lateralnog epizaglavka femura do glave fibule. U zajedničkom djelovanju oba ligamenta osiguravaju koljeno od hiperekstenzije dok pojedinačno onemogućuju prekomjernu abdukciju (medijalni kolateralni ligament) i adukciju koljena (lateralni kolateralni ligament). [19]

Uobičajena ozljeda ovih ligamenata javlja se u sportskim aktivnostima pri fizičkom kontaktu s drugom osobom. [19]

Dodatne strukture mekog tkiva koje također osiguravaju stabilnost koljena pri pokretanju su meniskusi. Meniskus je vezivno-hrskavično tkivo u obliku slova C i nalazi se na tibijinom platou. S obzirom da je glavica zgloba u obliku valjka, a čašica vrlo plitka, gotovo ravna, uvijek postoji opasnost od klizanja i iskliznuća. Tu opasnost smanjuje upravo meniskus koji je smješten na rubu čašice čineći je dubljom. To pojednostavljeno znači da smo sa meniskusom od plitkog dobili duboki tanjur. Da ne bi sve bilo tako jednostavno, pobrinula se sama priroda, pa tako u koljenu imamo dvije odvojene zglobne čašice, što znači i dva meniskusa – lateralni i medijalni. [23] Slikom 11 prikazani su lateralni i medijalni meniskus.



**Slika 11 Meniskus [23]**

Primarna uloga meniskusa povećanje je površine naližeganja između femura i tibije kako bi se smanjio tlak nastao uslijed djelovanja težine tijela. Još jedna bitna uloga meniskusa je smanjenje trenja unutar zgloba prilikom kretanja. [19]

#### **4.1.1. Ruptura prednjeg križnog ligamenta**

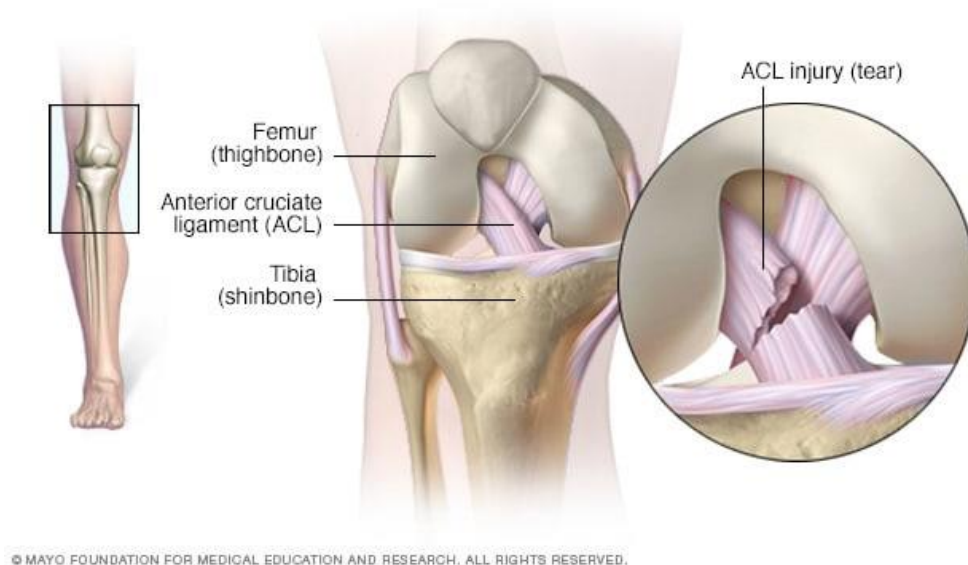
Ruptura prednjeg križnog ligamenta može biti djelomična ili potpuna, ovisno o tome jesu li prekinuti samo neki ili svi snopovi vlakana ligamenta. [24]

Tipični simptomi puknuća križnog ligamenta su bolovi u koljenu, oticanje te ograničena mogućnost pokreta. Zglob je nestabilan i ne može se u potpunosti saviti ni ispružiti. [25]

Ova ozljeda događa se prilikom nagle promjene smjera kretanje noge, doskoka ili rotacije oko stojeće noge prilikom izvođenja udaračkih tehnika, pogotovo kod rotacije donjeg dijela bedrene

kosti prema vanjskoj strani, dok gornji dio bedrene kosti ostaje u normalnom, ravnom položaju.

[26] Na Slici 12 prikazana je ruptura prednjeg križnog ligamenta.



**Slika 12 Ruptura prednjeg križnog ligamenta [27]**

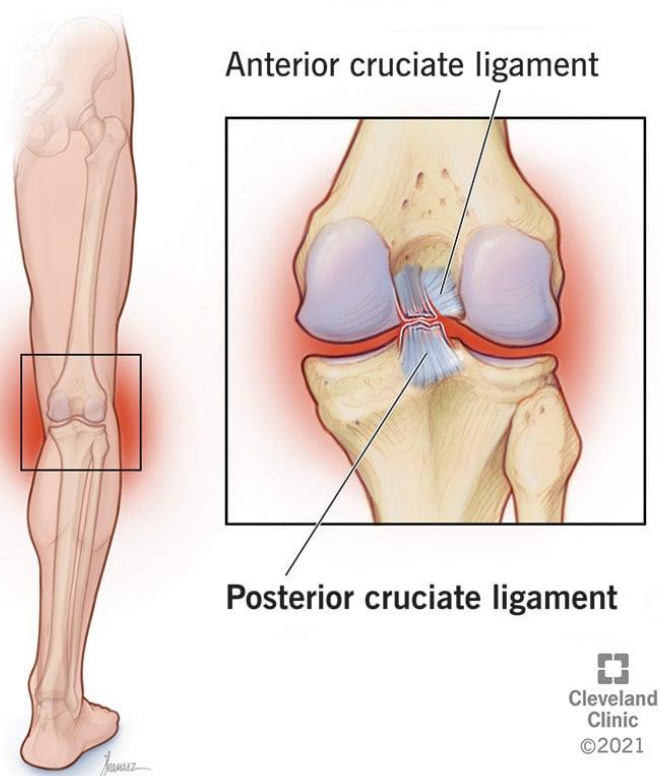
#### **4.1.2. Ruptura stražnjeg križnog ligamenta**

Kao i kod rupture prednjeg križnog ligamenta, ruptura stražnjeg križnog ligamenta može biti djelomična ili potpuna, ovisno o tome jesu li prekinuti samo neki ili svi snopovi vlakana ligamenta. [28]

Simptomi su također slični – bol i oticanje u koljenu te nestabilnost i ograničena mogućnost pokreta koljena. [28]

Ruptura stražnjeg križnog ligamenta uzrokovana je naglim izravnim udarcem velikom silom u prednji dio koljena. Može biti uzrokovana i krivim doskokom, padom te hiperekstenzijom koljena udarajuće noge. [29]

Slikom 13 prikazana je ruptura stražnjeg križnog ligamenta.



Slika 13 Ruptura stražnjeg križnog ligamenta [29]

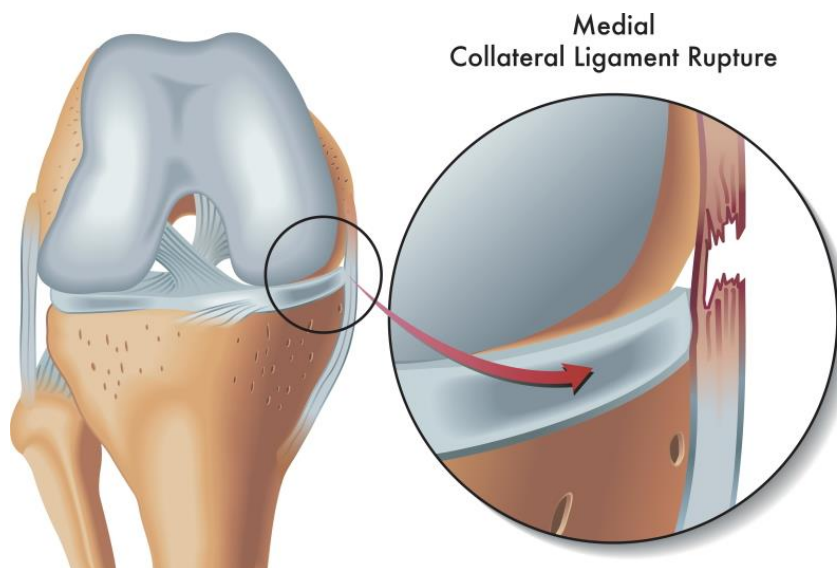
#### 4.1.3. Ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta

Ova je ruptura ozljeda nastala potpunom ili djelomičnom puknućem medijalnog kolateralnog ligamenta. [22]

Očituje se pojavom boli u području ozljede, oticanju, smanjenom opsegu pokreta i osjetom nestabilnosti u koljenu. [22]

Ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta uzrokovana je direktnim, nenamjernim, sudarom ili udarcem u bočnu, vanjsku stranu koljena primjerice u borbi s protivnikom. [21] Također, može biti uzrokovana naglom promjenom smjera kretanja, nepravilnim doskokom, nepravilnom rotacijom stojeće noge prilikom udarca i hiperekstenzijom udarajuće noge. [22], [30]

Na Slici 14 prikazana je ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta.



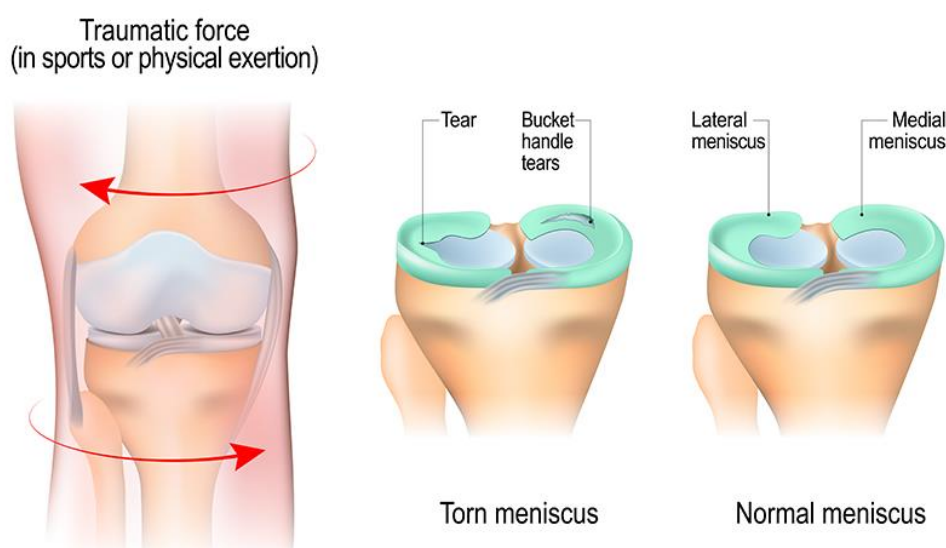
Slika 14 Ruptura medijalnog kolateralnog ligamenta [31]

#### 4.1.4. Ruptura medijalnog ili lateralnog meniskusa

Ruptura meniskusa (medijalnog – unutarnjeg i/ili lateralnog – vanjskog) može imati različite oblike za koje i liječenje može biti drugačije. [32]

Simptomi ove ruptуре su oticanje ili ukočenost koljena, bol (posebno kod rotacijskih kretnji), poteškoće s ispužanjem koljena te smanjen opseg pokreta. [32]

Rotacijske kretnje u koljenu najčešći su uzrok ozljeda meniskusa. [32] Zbog toga se stopalo stojeće noge na kojoj je oslonjeno cijelo tijelo tijekom izvođenja udarca mora pravilno zakrenuti da ne bi došlo do rotacije koljena i do ove ozljede. Slikom 15 prikazana je ruptura meniskusa.

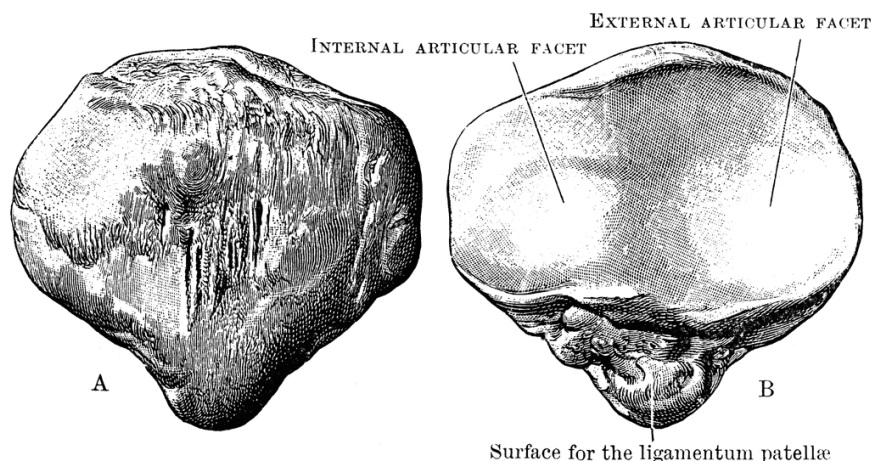


Slika 15 Ruptura meniskusa [32]

#### 4.2. Ozljede nastale prenaprezanjem

Ozljede nastale prenaprezanjem lakše su, ali u dugom roku također mogu nanijeti značajnu štetu. Zbog toga je važno držati se pravilne tehnike kako bi se izbjeglo nepoželjno opterećenje koljena tijekom duljeg vremena. Ove ozljede uključuju upalu tetiva koljena odnosno patelarni tendinitis zbog hiperekstenzije noge pri udarcu ili skokova. Za oporavak potreban je odmor, led, protuupalni lijekovi, a ponekad i fizikalna terapija te imobilizacija. Druga, rjeđa ozljeda, iščašenje je patele. Češće se javlja kod djece zbog još nedovoljno razvijenih ligamenata. [21]

Kost ivera tj. patele nalazi se unutar tetive četveroglavog mišića ili kvadricepsa i najveća je kost iz skupine sezamskih kostiju u tijelu čovjeka. [33] Slikom 16 prikazan je iver ili patela.



**Slika 16 Iver ili patela [34]**

S prednje strane, na pateli uočavamo tri dijela. Gornji dio služi za prihvat tetive kvadricepsa, sredina je ispunjena krvožilnim kanalićima, a donja trećina služi kao prihvat za patelarni ligament. [19] Sa stražnje pak strane, iver se dijeli na dva dijela. Gornje tri četvrtine čine zglobne hrskavice u dodiru s femurom. Zglobna hrskavica se dijeli na medijalnu i lateralnu površinu. Donja četvrtina ivera je ispunjena krvožilnim kanalićima i masnim tkivom. [33]

Patelarni ligament spaja donji dio patele s gornjim dijelom tibije. Ovaj ligament osigurava stabilnost koljenog zgloba te omogućava njegovo pokretanje primjerice pružanje koljena i skakanje. [35] Slikom 17 prikazan je patelarni ligament.



Slika 17 Patelarni ligament [36]

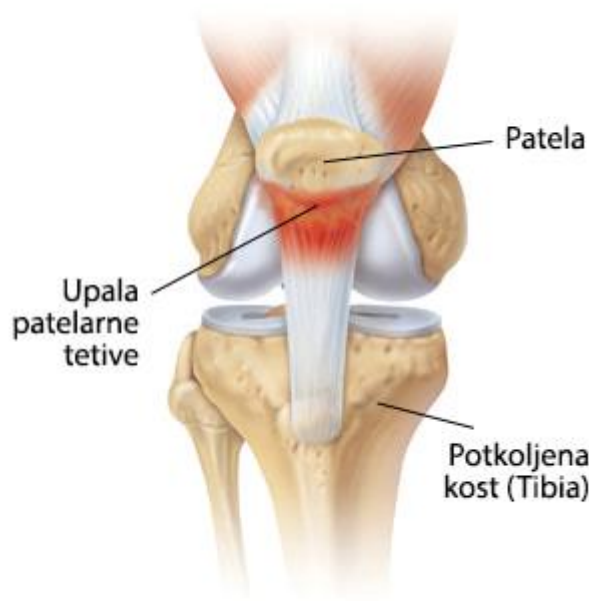
#### 4.2.1. *Patelarni tendinitis*

Patelarni tendinitis ozljeda je uzrokovana prenaprežanjem patelarnog ligamenta. Na ligamentu nastaju mikro oštećenja koja se s vremenom pogoršavaju ako se nastavlja s treninzima unatoč ozljedi. Zbog neprestanog opterećenja na oštećeni ligament on se ne može potpuno obnoviti i ojačati te nastaju stanične promjene i ligament sve više slabi. [37]

Ova ozljeda očituje se pojavom boli u prednjem dijelu koljena i to najčešće na vršku patele, tj. na polazištu patelarne sveze. [38]

Uzrok nastanka ove ozljede kod sportaša nedovoljna je fleksibilnost muskulature natkoljenice te neravnomjerna raspodjela mišićne snage kvadricepsa i tetiva koljena. [38] Kod taekwondoista, do patelarnog tendinitisa dolazi zbog već spomenute hiperekstenzije koljena udarajuće noge, a slaba muskulatura samo pogoršava stanje. [21]

Na Slici 18 prikazan je patelarni tendinitis.



Slika 18 Patelarni tendinitis [39]

#### 4.2.2. Iščašenje patele

Ova ozljeda javlja se češće kod djece i adolescenata. Nakon prvog iščašenja, u većini slučajeva, nije potrebna operacija već se pristupa konzervativnom liječenju. Na koljeno se stavi ortoza za patelu. Počinje se s izometričkim vježbama, a kasnije s vježbama jačanja mišića te vježbe jačanja glutealne muskulature. [40]

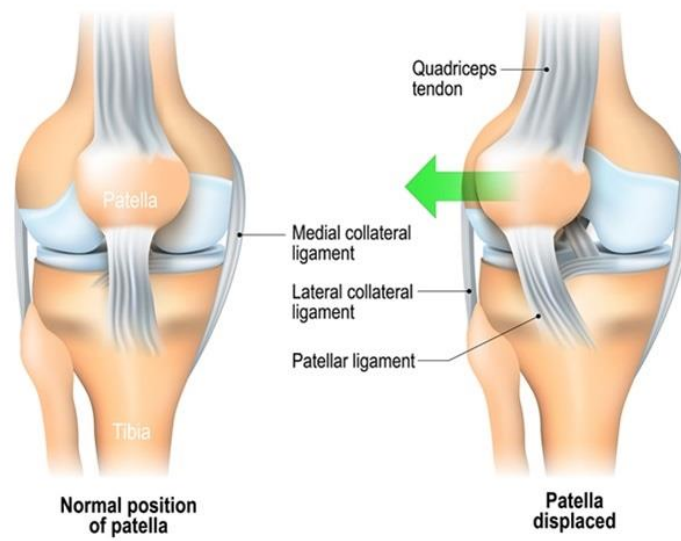
Česti simptom primarne dislokacije patele bolno je i otečeno koljeno te krvarenje u zglobu nastalo pucanjem ligamenata. Opseg pokreta je ograničen. [41]

Iščašenje (luksacija) patele najčešće je nekontaktna ozljeda kod koje je došlo do vanjske rotacije tibije u odnosu na femur uz snažnu kontrakciju kvadricepsa dok je stopalo čvrsto na tlu. U taekwondou, to se događa zbog nedovoljnog zakreta stojeće noge prilikom zadavanja kružnog udarca. Ako se radi o kontaktnoj ozljedi, do nje dolazi prilikom izravnog udarca u koljeno s bočne strane (medijalno ili lateralno). Prilikom dislokacije često dolazi i do pucanja medijalnog patelofemoralnog ligamenta koji ima funkciju primarnog stabilizatora patele. [41]

Na slici 19 prikazano je iščašenje patele.



## PATELLAR DISLOCATION



**Slika 19 Iščaćenje patele [42]**

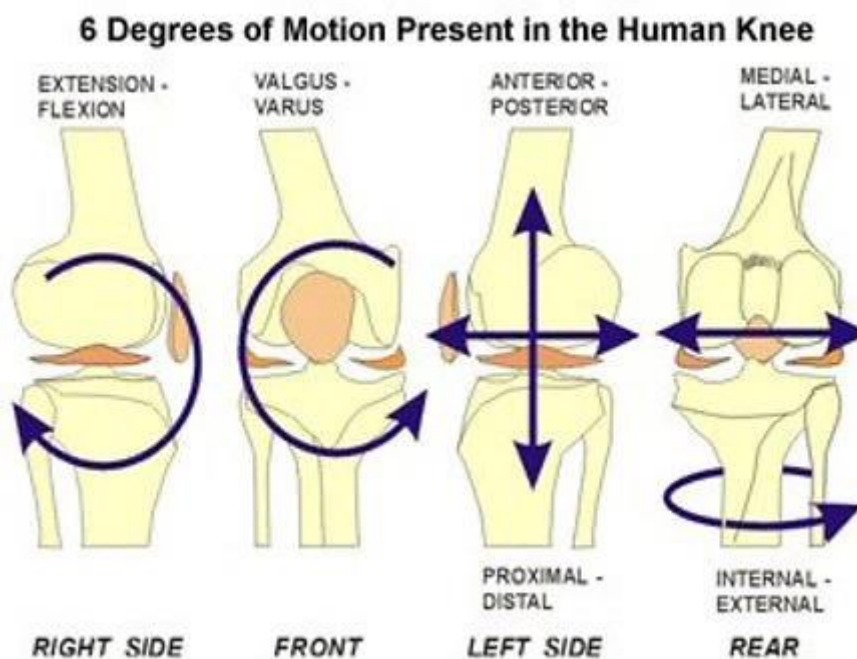
## 5. BIOMEHANIČKA ANALIZA KRUŽNOG UDARCA

Kako bi se provela biomehanička analiza ozljeda koljena kod kružnog udarca prvo treba navesti na koji način su pokreti koljena ograničeni ljudskom anatomijom.

Koljeni zglob ima 6 stupnjeva slobode gibanja:

- a) 3 rotacije:
  1. fleksija (do 140 stupnjeva) – ekstenzija (do -5 stupnjeva)
  2. varus – valgus (6 – 8 stupnjeva)
  3. unutarnja i vanjska rotacija (25 – 30 stupnjeva) u fleksiji
- b) 3 translacije:
  1. anterior – posterior (5 – 10 mm)
  2. pritisak (2 – 5 mm)
  3. medio – lateral (1 – 2 mm) [43]

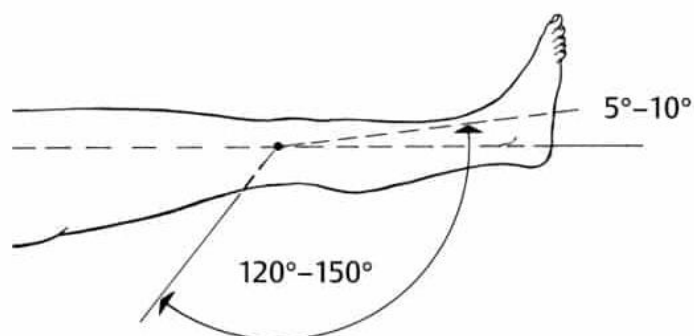
Na Slici 20 prikazane su prethodno navedene moguće rotacije i translacije koljena.



**Slika 20 6 stupnjeva slobode gibanja koljena [43]**

Prilikom fleksije i ekstenzije dolazi do promjene središta rotacije femura, a u koljenom zglobu dolazi do kotrljanja, klizanja i čiste rotacije. [43]

Na Slici 21 prikazan je opseg kretnje (fleksija i ekstenzija) koljena.



**Slika 21** Fleksija i ekstenzija koljena [44]

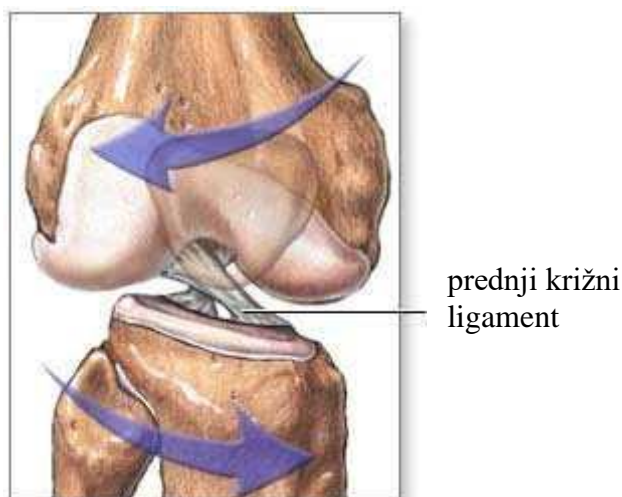
Kod izvođenja kružnog udarca treba primijeniti već spomenute pravilne tehnike kako se ne bi dogodila rotacija ili pomak koljena više nego što je koljenu prirodno omogućeno translacijama i rotacijama. Prilikom podizanja udarajuće noge tijelo se mora zakrenuti. To mu omogućuje stojeća noga koja se na prstima stopala okreće u smjeru tijela. Stojeću nogu potrebno je okrenuti u kuku, a koljeno udarajuće noge omogućava završetak udarca svojom fleksijom i ekstenzijom. Ako dođe do nepoželjne rotacije stojeće noge ili pogrešnog pokreta udarajuće noge povećava se rizik od nastanka blažih ozljeda (tendinitis) ili ozbiljnijih ozljeda (ruptura) ligamenata i meniskusa.

Zbog ozbiljnosti ozljeda prednjeg i stražnjeg križnog ligamenta na njihovim primjerima u nastavku bit će prikazana analiza pravilnog i nepravilnog položaja i pokreta nogu koji dovode do rizika od ozljede.

### **5.1. Biomehanika ozljede prednjeg križnog ligamenta**

Ozljeda prednjeg križnog ligamenta nastaje kada se kosti tibije i femura zakrenu u suprotnom smjeru. [25]

Slikom 23 prikazan je smjer zakretanja tibije i femura koji dovodi do puknuća prednjeg križnog ligamenta.



**Slika 22 Zakretanje tibije i femura – ozljeda prednjeg križnog ligamenta [45]**

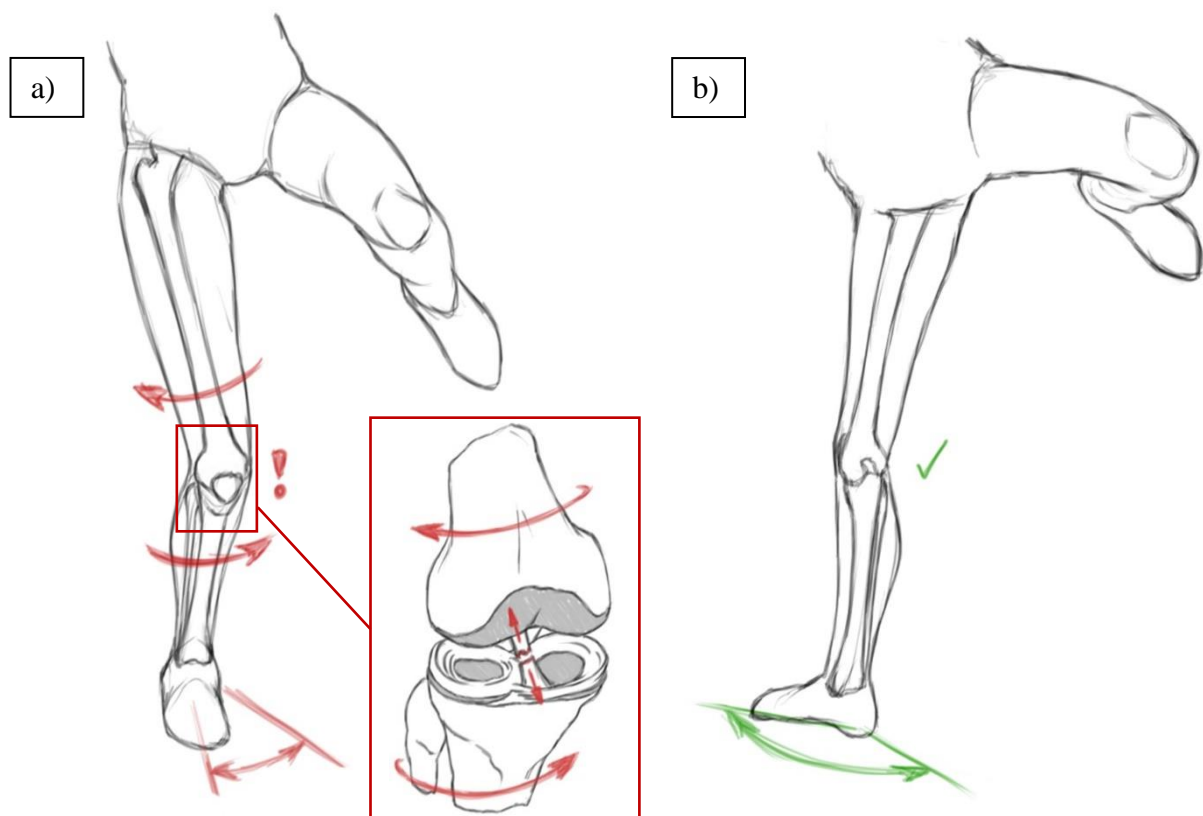
Do ovakvog zakretanja tibije i femura pri kružnom udarcu u taekwondou doći će ako se stopalo stojeće noge iz početnog položaja u stavu na jagodicama prstiju ne zakrene dovoljno prema vanjskoj strani te ostane fiksirano na tlu, odnosno, ako prsti u zadnjoj fazi zadavanja udarca nisu okrenuti u suprotnom smjeru od udarajuće noge i cilja. Ovime se ograničava rotacija tijela i stojeće noge koja se u kuku (koji ima puno veći opseg kretnje od koljena) ne može u potpunosti rotirati oslanjajući se na stopalo, nego se moment uvijanja prenosi na koljeno. Koljeno, čija je primarna uloga fleksija i ekstenzija u sagitalnoj ravnini, ne može prenositi velike rotacije u transverzalnoj ravnini i takav je pokret za njega neprirodan. Budući da je zadaća prednjeg križnog ligamenta u koljenu sprječavanje unutarnje rotacije tibije, opterećenje se prenosi na njega, međutim, ako se iznos vlačne sile u ligamentu trzajem noge naglo poveća do vrijednosti koje ligament ne može podnijeti, može dovesti do njegove rupture. Ozljeda može nastati i ako se ovakav nepravilan pokret često ponavlja pa je prednji križni ligament izložen velikim amplitudama vlačne sile tijekom duljeg vremena. Tada dolazi do zamora materijala i istegnuća ligamenta.

Na Slici 24 prikazano je kako rotacija stopala utječe na pravilno izvođenje udarca, odnosno kako dovodi do rizika od ozljede prednjeg križnog ligamenta.

Na Slici 24 a) stopalo stojeće noge nije dovoljno zakrenuto prema vani (nije usmjereno u suprotnom smjeru od udarajuće noge) i u tom je nepravilnom položaju fiksirano za podlogu. To, pri podizanju udarajuće noge, uzrokuje zakretanje femura prema vanjskoj strani, dok tibija ostaje rotirana prema unutra. Takav položaj stvara neprirodno opterećenje na prednji križni

ligament i može dovesti do njegove ozljede. Na uvećanom prikazu koljenog zgloba vidljivi su momenti i sile koji uzrokuju rupturu ligamenta. Također, udarajuća noga ne može se ispružiti do kraja i udarac se ne može zadati.

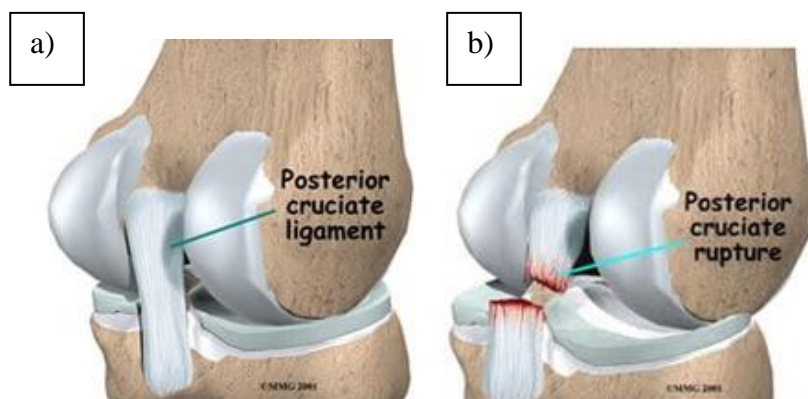
Na Slici 24 b) prikazana je pravilna tehnika s pravilnim položajem stopala (potpuno zakrenutog) te se u ovom slučaju prednji križni ligament ne opterećuje kao na Slici 24 a). Kuku je omogućena rotacija jer se stopalo na prstima po potrebi slobodno rotira po tlu, koljeno je rasterećeno (nema uvijanja) i udarac se može pravilno zadati.



Slika 23 Položaj stojeće noge: a) nepravilan, b) pravilan

## 5.2. Biomehanika ozljede stražnjeg križnog ligamenta

Na Slici 25 a) možemo vidjeti zdravi stražnji križni ligament u prirodnom položaju, a na Slici 25 b) prikazana je ruptura ligamenta nastala hiperekstenzijom koljena noge pri udarcu. Pri hiperekstenziji, kut koljena veći je nego onaj kojeg koljeno može podnijeti (više od -5 ili kod nekih ljudi -10 stupnjeva).



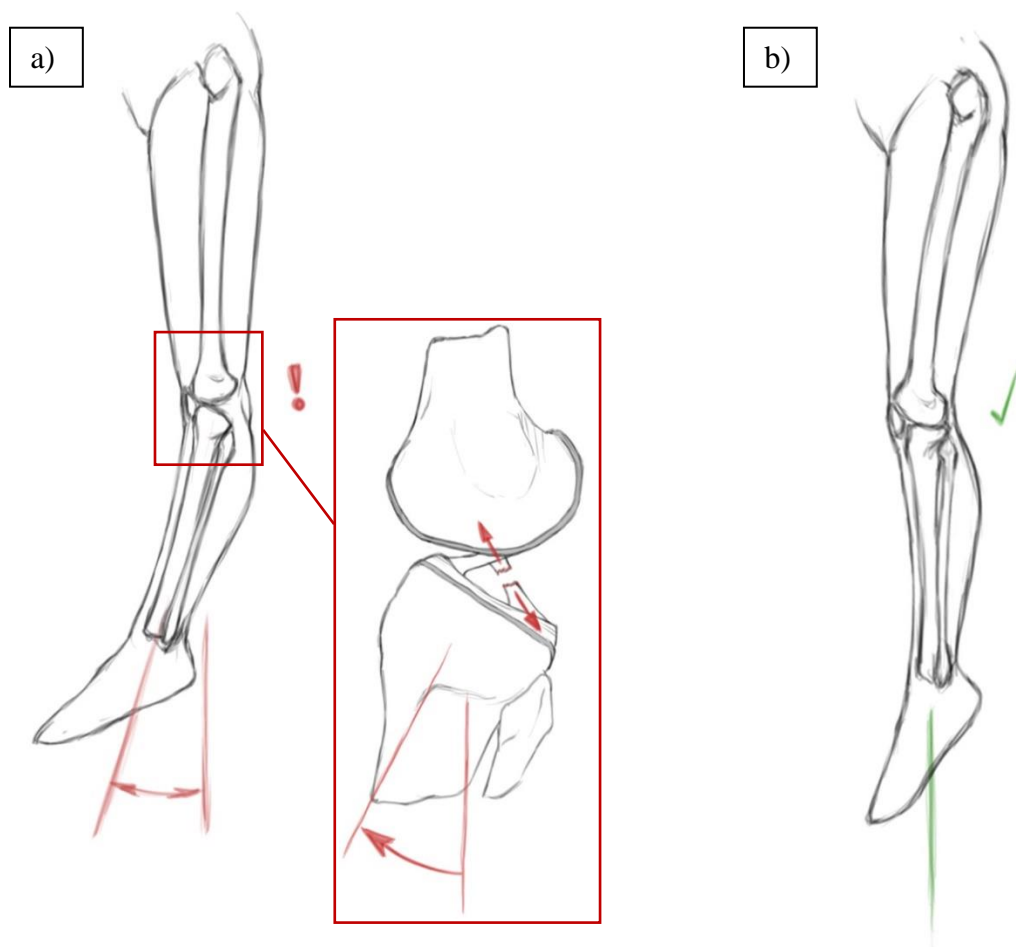
**Slika 24 Stražnji križni ligament: a) prirodni položaj, b) ruptura [46]**

Zbog slabe muskulature i/ili prevelikog, nekontroliranog zamaha nogom, noga u koljenu savija se u suprotnom smjeru i opterećuje stražnji križni ligament.

Iako je primarna kretanja koljena fleksija i ekstenzija, pretjerana ekstenzija koljena izvan granica njegovih mogućnosti također može dovesti do ozljede. Nakon pravilnog zakreta tijela i stojeće noge te podizanja koljena udarajuće noge u smjeru cilja zadnji korak je opružanje potkoljenice udarajuće noge. Nekontroliranim i prejakim opružanjem potkoljenice javlja se moment savijanja koji savija koljeno u suprotnu stranu (hiperekstenzija). Budući da je jedna od zadaća stražnjeg križnog ligamenta prevencija hiperekstenzije, u ligamentu se tada javlja vlačna sila koja, ako je njen iznos uzrokovan trzajem noge prevelik, može dovesti do njegove rupture. Isto kao i kod ozljede prednjeg križnog ligamenta, ako je stražnji križni ligament zbog krivog izvođenja pokreta tijekom duljeg vremena izložen dinamičkom opterećenju sile koju ne može podnijeti, dolazi do istegnuća ligamenta.

Na Slici 26 a) prikazana je kriva tehnika. Udarajuća noga previše je savijena u koljenu u suprotnom smjeru (hiperekstenzija) što stvara opterećenje na posteriornoj strani koljena, odnosno na stražnji križni ligament te dovodi do njegove ozljede što se može i vidjeti na uvećanom dijelu prikaza.

Na Slici 26 b) prikazana je ispravna tehnika. Ekstenzija koljena u prirodnim je granicama i nema opasnog opterećenja na stražnji križni ligament. Udarac je pravilno izveden.



**Slika 25 Položaj udarajuće noge: a) nepravilan, b) pravilan**

## 6. PREVENCIJA OZLJEDA

Nakon provedene analize ispravnih i pogrešnih tehnika u prethodnim poglavljima, potrebno je osvrnuti se na načine preveniranja potencijalnih ozljeda koljena.

Ozljede mogu nastati zbog slabe mišićne strukture i manjka koordinacije. Kako bi prevencija ozljeda bila učinkovita, vježbanje je potrebno provoditi kvalitetno i najmanje 3 puta tjedno. [1]

Kao i u svakom sportu, prevencija ozljeda kreće od pravilnog zagrijavanja i istezanja kojima se postiže elastičnost mekih struktura. Također, u treninge je potrebno uključiti i vježbe jakosti, ravnoteže, agilnosti i kontrole umora te ih prilagoditi potrebama i dobi sportaša. U vježbama snage potrebno je progresivno povećavati opterećenje s ciljem jačanja svih velikih mišićnih skupina u punom opsegu pokreta, a u vježbama agilnosti potrebna je stalna progresija kretanja u jednoj ili više ravnina (naprijed, nazad, lijevo, desno) u kombinaciji sa skokovima i iznenadnim promjenama smjera kretanja. Vježbama jačanja osigurava se dobra ravnoteža jakosti svih mišića kako bi se prevenirale ozljede nastale opterećenjem pojedinih dijelova tijela. Vježbe je potrebno pravilno izvoditi, nepravilnosti treba na vrijeme korigirati, a u slučaju umora vježbu treba prekinuti i odmoriti se kako bi se tkiva nakon napora oporavila. [1]

Neprilagođenost treninga, nepravilno zagrijavanje i istezanje, nedostatak snage, izdržljivosti i agilnosti dovodi do manjih ili većih ozljeda stoga je preventivni trenažni proces nužan. [1]

Iako se u dostupnim izvorima ističe da je pravilno zagrijavanje i istezanje vrlo važno te je prvi korak kvalitetnog treninga, nedovoljno se naglašava važnost i uloga pravilnog izvođenja pokreta, a u sportu kao što je taekwondo, potaknuto iskustvom, ipak je usvajanje pravilnih tehnika udaraca, blokova i stavova ključno za prevenciju ozljeda.

Kvalitetnim zagrijavanjem i istezanjem eliminiraju se ili barem svode na minimum mogućnosti ozljeda zbog slabe mišićne strukture i manjka koordinacije, međutim, ako pravilna tehnika nije usvojena, bez obzira na dobru kondicijsku pripremu i opću tjelesnu spremu osobe, može doći do ozljeda. Ako se udarac kao što je, primjerice, kružni ne provodi ispravno, ne uzimajući u obzir ograničenja ljudske anatomije, zbog nepoznavanja pravilne tehnike, koljeno, ali i ostali zglobovi i dijelovi tijela, izloženi su nepovoljnim biomehaničkim djelovanjima. Zbog ponavljanja pogrešnih pokreta tijekom duljeg vremena dolazi do kumuliranja mikrotrauma koje se jedno vrijeme mogu kompenzirati razgibanošću i dobrim fizičkim stanjem, ali ako se ustraje u krivim pokretima oni mogu rezultirati nepopravljivim oštećenjima koja sprječavaju nastavak



---

daljnjeg bavljenja sportom pogotovo na natjecateljskoj razini. Vrlo je važno tehniku dovesti do savršenstva te je bitno da se u svim koracima treniranja – učenja tehnika, uvježbavanja tehnika i njihove izvedbe u borbi vodi računa o balansu lijeve i desne strane tijela, odnosno, lijeve i desne noge pri udarcima.

Ovakvom temeljitom pripremom i automatizacijom pokreta povećava se i vjerojatnost pravilne i pravovremene reakcije ako potencijalno i dođe do situacije koja može rezultirati ozljedom kao što su doskoci pri kompleksnijim udarcima u skoku ili okretu iz skoka.

## 7. ZAKLJUČAK

Uobičajeno je mišljenje da su borilački sportovi zbog same prirode izvedbe (kontakt, udarci, skokovi...) opasne aktivnosti koje često dovode do ozljeda koje zbog svoje ozbiljnosti ponekad mogu rezultirati i prisilnim završetkom nečije sportske karijere i, dok se u smjernicama za prevenciju ističu vježbe snage, kondicijske pripreme, razgibavanja, istezanja i sl., puno se manje skreće pozornost na pravilno usvajanje same tehnike izvedbe.

Na primjeru taekwondo, u radu su obuhvaćene ozljede koljena u najčešće zastupljenom udarcu – kružnom udarcu, upravo s ciljem predočavanja da se poznavajući mehanizme nastanka i faktore rizika mnogo ozljeda može prevenirati ili bar značajno ublažiti u samoj fazi učenja. Taekwondo je u prvom redu vještina, a svaka vještina podrazumijeva dugotrajan proces ponavljanja trenažnih elemenata zato je bilo potrebno zasebno analizirati svaku od pojedinih tehnika i ukazati na česte pogreške koje nastaju u izvedbi. Pogrešan stav, nedovoljan zakret noge i nepotpuna rotacija kukova neke su od grešaka koje se javljaju u procesu usvajanja tehnika koje dovode do nepoželjnog opterećenja koljena i rizika od ozljeda. Navedene su najčešće ozljede koljena – rupturi prednjeg i stražnjeg križnog ligamenta, medijalnog kolateralnog ligamenta i medijalnog ili lateralnog meniskusa te patelarni tendinitis i iščašenje patele, uz objašnjenje mehanizama nastanka vezanih za tehnike i građu koljena. Nepovoljno opterećenje ligamenata koji omogućuju stabilnost koljena uzrokovano hiperekstenzijom, uvijanjem koljena, krivim doskokom ili naglom promjenom smjera kretanja može dovesti do ozljeda. Na kraju je obavljena biomehanička analiza koljenog zgloba na primjeru ozljeda prednjeg i stražnjeg križnog ligamenta u kojoj su povezani anatomija samog koljena s kretanjima koje se događaju prilikom zadavanja kružnog udarca. Prikazani su nepravilni pokreti koji dovode do rizika od ozljede i pravilni pokreti koje je potrebno usvojiti da do ozljede ne bi došlo. Kretnje koje dovode do ovakvih ozljeda su rotacija koljena stojeće noge i hiperekstenzija koljena udarajuće noge koje uzrokuju momente uvijanja i vlačne sile nepovoljne za koljeno. Budući da taekwondo postaje sve masovniji, individualni pristup koji je najbolji za ovakav sport teže je provoditi pa potencijalno može generirati problem pogrešaka u učenju koje, unatoč svim zagrijavanjima, istezanjima i drugim fizičkim pripremama, mogu dovesti do ozljeda.

U radu se ukazuje na važnost što boljeg poznavanja i razumijevanja biomehaničke prirode izvođenja sportskih kretnji kao prevencije ozljeda i u tom smjeru potrebu daljnjih istraživanja i mjerenja kao smjernica za usavršavanje izvedbi.

**LITERATURA**

- [1] <https://www.taekwondo-cigra.hr/prevencija-i-pravila-zbrinjavanja-sportskih-ozljeda/>, Prosinac 2022.
- [2] [https://www.bib.irb.hr/695667/download/695667.SPECIFINOSTI\\_OZLJEDA\\_U\\_TAE\\_KWONDO\\_SPORTU\\_PREVENCIJA\\_I\\_REHABILITACIJA\\_Milinkovi.docx](https://www.bib.irb.hr/695667/download/695667.SPECIFINOSTI_OZLJEDA_U_TAE_KWONDO_SPORTU_PREVENCIJA_I_REHABILITACIJA_Milinkovi.docx), Prosinac 2022.
- [3] <https://www.kifst.hr/~dcular/Taekwondo/1%20OSNOVE%20TKD.pdf>, Prosinac 2022.
- [4] <https://www.taekwondo-cigra.hr/taekwondo/tehnike/>, Prosinac 2022.
- [5] <https://taekwondo-medvedgrad.hr/sto-je-tae-kwon-do/>, Prosinac 2022.
- [6] <https://www.senseiwebportal.com/taekwondo-umjetnost-borbe-nogama/>, Prosinac 2022.
- [7] <https://www.kifst.hr/~dcular/Taekwondo/3.%20SPORTSKA%20BORBA.pdf>, Prosinac 2022.
- [8] <https://hrcak.srce.hr/file/94245>, Prosinac 2022.
- [9] <https://www.taekwondonation.com/how-to-do-roundhouse-kick-in-taekwondo/>, Prosinac 2022.
- [10] <https://www.taekwondonation.com/taekwondo-stances/>, Prosinac 2022.
- [11] <https://www.taekwondopreschool.com/tutorialstance3.html>, Prosinac 2022.
- [12] <https://kukkiwon.or.kr/front/pageView.action?cmd=/eng/information/taekwondoSkill2>, Prosinac 2022.
- [13] <https://www.taekwondopreschool.com/tutorialstance13.html>, Prosinac 2022.
- [14] <https://www.taekwondopreschool.com/tutorialstance1.html>, Prosinac 2022.
- [15] [https://taekwondo.fandom.com/wiki/Roundhouse\\_Kick](https://taekwondo.fandom.com/wiki/Roundhouse_Kick), Prosinac 2022.
- [16] <http://www.martialjourneysofmadison.com/why-knees-hurt/>, Prosinac 2022.
- [17] <http://www.turtlepress.com/training/common-roundhouse-kick-mistakes-and-how-to-avoid-them>, Prosinac 2022.
- [18] Osnove funkcionalne anatomije, Davor Šentija
- [19] Clare E. Milner: Functional Anatomy for Sport and Exercise, Routledge, 2008.
- [20] <https://www.whitedragonmartialarts.com/pain-in-the-knees/>, Siječanj 2023.
- [21] <https://www.juntong-taekwondo.com/index.php/training/knee-injuries>, Siječanj 2023.
- [22] <https://www.svkatarina.hr/ortopedija-i-sportska-medicina/operativni-zahvati-drugih-ligamenata-koljena>, Siječanj 2023.
- [23] <http://www.scipion.hr/cd/127/meniskus-scipion-centar-za-fizioterapiju-i-fitness-rijeka-scipion>, Siječanj 2023.

- [24] <http://reha.hr/cms/djelomicna-ruptura-prednjeg-kriznog-ligamenta/>, Siječanj 2023.
- [25] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/16576-acl-anterior-cruciate-ligament-tears>, Siječanj 2023.
- [26] <https://www.fizio-gp.hr/fizikalna-terapija-rehabilitacija/traume-i-operativni-zahvati/puknuce-prednjeg-kriznog-ligamenta/>, Siječanj 2023.
- [27] <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/acl-injury/symptoms-causes/syc-20350738>, Siječanj 2023.
- [28] <http://reha.hr/cms/ozljeda-straznjeg-kriznog-ligamenta/>, Siječanj 2023.
- [29] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/21793-pcl-posterior-cruciate-ligament-tears>, Siječanj 2023.
- [30] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/21979-mcl-tear>, Siječanj 2023.
- [31] <https://sportdoctorlondon.com/mcl-injury/>, Siječanj 2023.
- [32] <https://www.svkatarina.hr/ortopedija-i-sportska-medicina/operativni-zahvati-na-meniscima>, Siječanj 2023.
- [33] D. R. Peterson, J. D. Bronzino: Biomechanics Principles and Applications, 2008
- [34] <https://bonebrokeblog.files.wordpress.com/2013/06/patella.gif>, Siječanj 2023.
- [35] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/17324-patellar-tendonitis>, Siječanj 2023.
- [36] <https://www.wishmama.hr/roditeljstvo/savjeti-lijecnika/traumatsko-iscasenje-patele/>, Siječanj 2023.
- [37] [https://martinkoban.com/patellar-tendonitis/#\\_ftn3](https://martinkoban.com/patellar-tendonitis/#_ftn3), Siječanj 2023.
- [38] <https://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/18504/Skakacko-koljeno-jumpers-knee.html>, Siječanj 2023.
- [39] <https://www.rekreativa-medical.com/bol-u-koljenu-uzroci.html>, Siječanj 2023.
- [40] [https://www.bolnica-nemec.hr/hr/nestabilnost\\_patele\\_luksacija\\_patele/60/7](https://www.bolnica-nemec.hr/hr/nestabilnost_patele_luksacija_patele/60/7), Siječanj 2023.
- [41] <https://www.fitness.com.hr/zdravlje/ozljede-bolesti/Dislokacija-patele.aspx>, Siječanj 2023.
- [42] <https://www.news-medical.net/health/Kneecap-Dislocation.aspx>, Siječanj 2023.
- [43] <https://boneandspine.com/normal-biomechanics-of-knee/>, Siječanj 2023.
- [44] <https://orthofixar.com/special-test/knee-range-of-motion-test/>, Siječanj 2023.
- [45] <https://getbacktosport.com/acl-injury/the-acl-explained/>, Siječanj 2023.
- [46] <https://www.atticasportsclinic.gr/en/sports-injuries/posterior-cruciate-ligament>, Siječanj 2023.