

Prevenција ozljede ACL-a u igrača rukometa

Prkačin, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:983094>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:

magistar kineziologije)

Kristina Prkačin

PREVENCIJA OZLJEDE ACL-a U IGRAČA

RUKOMETA

Diplomski rad

Mentor:

doc. dr. sc. Goran Vrgoč

Zagreb, travanj, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA
(sve CALIBRI 10)

Sveučilište u Zagrebu

Kineziološki fakultet Zagreb

Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

Naziv studija: Kineziologija; smjer: Kineziterapija

Vrsta studija: sveučilišni

Razina kvalifikacije: integrirani prijediplomski i diplomski studij

Studij za stjecanje akademskog naziva: Sveučilišna magistra kineziterapije

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Kineziologija

Vrsta rada: Stručni rad

Tema rada

Mentor: doc. dr. sc. Goran Vrgoč

Pomoć pri izradi:

Prevenција ozljede ACL-a u igrača rukometa

Kristina Prkačin, 0034076593

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

1. doc.dr.sc. Goran Vrgoč - mentor
2. izv.prof.dr.sc. Tomislav Rupčić
3. doc.dr.sc. Marijo Možnik
- 4.

Broj etičkog odobrenja:

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kineziološkog fakulteta,
Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

BASIC DOCUMENTATION CARD
(all CALIBRI 10)

GRADUATE THESIS

University of Zagreb

Faculty of Kinesiology Zagreb

Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

Title of study program: Kinesiology; Kinesitherapy

Type of program: University

Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate

Acquired title: University Master of Kinesitherapy

Scientific area: Social science

Scientific field: Kinesiology

Type of thesis: Theoretical or conceptual thesis

Thesis subject

Mentor: doc.dr.sc. Goran Vrgoč

Technical support:

Prevention of ACL injuries i handball players

Kristina Prkačin, 0034076593

Thesis defence committee:

1. doc.dr.sc. Goran Vrgoč
2. izv.prof.dr.sc. Tomislav Rupčić
3. doc.dr.sc. Marijo Možnik
- 4.

Ethics approval number:

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Kinesiology,
Horvacanski zavoj 15, Zagreb

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija završnog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

doc.dr.sc. Goran Vrgoč
upisati titulu, ime i prezime

Student:

Kristina Prkačin
upisati ime i prezime

PREVENCIJA OZLJEDE ACL-A U IGRAČA RUKOMETA

SAŽETAK

Rukomet je timski sport koji zahtjeva velike fizičke napore od igrača u kojima dolazi do različitih ozljeda velikog broja. Rukomet kao sport karakteriziraju različiti oblici kretnji, kao što su: kontrolirani i nekontrolirani skokovi, iznenadne promjene smjera, trčanje te bacanja. Ozljede su česte, no ipak ozljede koljena (ruptura ACL-a) predstavlja područje najčešćeg ozljeđivanja. Svrha i cilj ovog diplomskog rada je pregled relevantne dostupne literature o prevenciji ozljeda ACL-a i implementaciji u rukometu. Prikazana je anatomija i biomehanika zgloba koljena, njihove karakteristike te višekomponentni program preventivnog treninga. Integracija navedenih komponenti i neuromuskularnog treninga pokazuju se najučinkovitijom metodom. Neophodna je važnost uzimanja u obzir specifičnih karakteristika sportaša u dizajniranju trenažnog procesa. Preventivni trening bi trebao biti implementiran kao dio sportaševog predsezonskog i sezonskog treninga. Provedba programa se preporučuje od najranije dobi i osobito je korisna ukoliko želimo optimizirati čimbenike motoričkog učenja i zadržati poboljšanu neuromuskularnu kontrolu s naglaskom na smanjenje rizika od ozljeda.

Ključne riječi: rukomet, zglob koljena, prednji križni ligament, prevencija, ruptura.

PREVENTION OF ACL INJURIES IN HANDBALL PLAYERS

ABSTRACT

Handball is a team sport that requires great physical demands from the players, in which a large number of different injuries occur. Handball as a sport is characterized by different forms of movements, such as: controlled and uncontrolled jumps, running, throwing and sudden changes of direction. Injuries are common, but knee injuries (ACL rupture) are the area of most frequent injuries. The purpose and goal of this thesis is to review relevant available literature on ACL injury prevention and implementation in handball. Numerous risk factors and the specific mechanism of injury are described. The anatomy and biomechanics of the knee joint are presented together with the functional characteristics of certain structures in the knee. A multi-component preventive training program is presented that includes (feedback on technique and quality of movement in combination with exercises from the following categories: strength, flexibility, mobility, plyometrics, agility and proprioception). The integration of the mentioned components and neuromuscular training prove to be the most effective method. It is crucial to take into account the specific characteristics of athletes in designing the training process. Preventive training should be implemented as part of the athlete's preseason and season training. Implementation of the program is recommended from an early age and is particularly useful if we want to optimize motor learning factors and maintain improved neuromuscular control with the aim of reducing the risk of injury.

Key words: handball, knee joint, anterior cruciate ligament, prevention, rupture.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ANATOMIJA ZGLOBA KOLJENA	3
2.1. Koštane strukture i zglobovi.....	3
2.2. Ligamenti i tetive.....	4
2.2.1. Prednji križni ligament (ACL).....	4
2.2.2. Stražnji križni ligament (PCL).....	5
2.2.3 Medijalni dio zgloba koljena	5
2.2.4. Lateralni dio zgloba koljena	5
2.2.5. Menisci.....	6
2.3. Muskulatura zgloba koljena	6
3. BIOMEHANIKA ZGLOBA KOLJENA	8
3.1. Funkcionalna biomehanika križnih ligamenata	9
4. OZLJEDA ACL-a.....	10
4.1. Mehanizam nastanka ozljede ACL-a	10
4.2. Rizični faktori.....	11
5. PREVENCIJA OZLJEDE ACL-a	12
5.1. Načela preventivnog programa.....	12
5.2. Komponente vježbi preventivnog programa	13
6. PREVENCIJA ACL-A I PREGLED RELEVANTNE LITERATURE.....	14
7. KLJUČNE ZNAČAJKE U PREVENCIJI OZLJEDE ACL-a U RUKOMETU	20
8. PRIMJER PROGRAMA PREVENCIJE ZA IGRAČE RUKOMETA.....	22
8.1. Dinamičko zagrijavanje	23
8.2. Aktivacijske vježbe.....	28
8.3. Vježbe snage	30
8.4. Pliometrijske vježbe.....	32
8.5. Vježbe agilnosti	35
8.6. Motorička kontrola	36

9. ZAKLJUČAK.....	39
PRILOZI.....	40
LITERATURA	41

1. UVOD

Ekvipni rukomet jedan je od najpopularnijih timskih sportova širom svijeta, posebno u Europi. Na području Hrvatske, posljednjih petnaestak godina rukomet po interesu i atraktivnosti zauzima drugo mjesto, uzmemo li u obzir obje populacije. Rukomet je sport kojeg karakteriziraju različiti oblici kretanja, kao što su: kontrolirani i nekontrolirani skokovi, trčanje, bacanja i promjene smjera. Ne samo zbog čestog fizičkog kontakta s protivnikom, već i zbog vrlo dinamičnog stila igre, rukometaši su izloženi enormno visokom riziku od ozljeda. S više od 15% sportskih ozljeda u klupskom sportu, rukomet je drugi sport s najvećim brojem ozljeda u Europi. Učestalost rukometnih utakmica i održavanje turnira dovodi do povećanja rizika za nastanak ozljede (Pieper i sur., 2007 & Achenbach i sur., 2020). Opisat ćemo osnovnu anatomiju i biomehaniku zgloba koljena, istaknuti funkcionalne karakteristike struktura koljena, nabrojati koji su rizični faktori i objasniti specifičnost mehanizma nastanka ozljede. Pregledom relevantne literature i sažimanjem činjenica prikazat ćemo praktični primjer trenažnog programa prevencije koji će sadržavati ključne komponente treninga. Vrlo je važno da se uzmu u obzir funkcionalne karakteristike sportaša i specifičnost kretanja u rukometu jer će se trening prevencije temeljiti na osnovi tih kriterija.

Ozljede u rukometu veoma su česte, no ipak, ozljeda koljena – uglavnom ruptura prednjeg križnog ligamenta (eng. ACL) najčešća je teška ozljeda u momčadskom rukometu u dobi od 15 do 19 godina. Ozljede ACL-a problem su u mnogim sportovima, osobito među osobama ženskog spola. Rizik od rupture ACL-a pet je puta veći među ženama nego među muškarcima, a razlika u spolu još je izraženija u elitnom sportu u usporedbi sa nižim rangom natjecanja (Arendt i sur., 1995). Do sada je nekoliko istraživanja ispitivalo kratkoročne i dugoročne posljedice nakon ozljede ACL-a kod vrhunskih sportaša i važnosti preventivnog programa. Zabilježeno je da se stopa povratka profesionalnom sportu kreće između 30% i 50%.

Većina se ozljeda ACL-a događa bez kontakta između igrača (približno 80% ozljeda se dogodi tijekom beskontaktnog i reznog pokreta (eng. non-contact plant and cut movement) ili pri doskoku iz skok šuta). Obično se radi o lažnom pokretu za promjenu smjera da bi se prošao protivnik ili pri doskoku s jednom nogom iz skok šuta. Pretpostavlja se da bi poboljšanje svijesti o položaju koljena, ravnoteži, tehnikama kretanja u različitim ravninama i doskoka moglo smanjiti učestalost ozljeda ACL-a (Myklebust i sur., 1998). Budući da su dugoročne posljedice ozljede ACL-a ozbiljne, a timski rukomet sport visokog rizika, postoji hitna potreba za razvojem učinkovitih strategija prevencije ozljeda. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti mogućnosti prevencije ozljeda u rukometu.

2. ANATOMIJA ZGLOBA KOLJENA

Razumijevanje anatomije i biomehanike koljena temelj je za liječnika, ali i za druge stručnjake koji sudjeluju u rehabilitaciji i/ili prevenciji. Također ćemo objasniti specifičnosti (koštanih, mišićnih, ligamentarnih i tetivnih struktura) i način na koji različite strukture koljena rade zajedno kako bi održali normalnu funkciju zgloba koljena.

Prilikom svih pokreta, zglob koljena radi u tzv. aksijalnoj kompresiji pod djelovanjem gravitacije. Stoga mora osigurati dva suprotna zahtjeva, mobilnost i stabilnost. Ovaj problem je riješen rasporedom ligamenata, meniskusa i tetiva: ligamenti i menisci daju statičku stabilnost, a mišići i tetive dinamičku stabilnost. Ipak, izloženost koljena vanjskim silama čini ga vrlo ranjivim u mnogim zanimanjima i sportovima (Saavedra i sur., 2012).

2.1. Koštane strukture i zglobovi

Koljeno je mjesto susreta dviju važnih kostiju u nozi, bedrene kosti (lat. *femur*) i goljenične kosti (lat. *tibia*). Iverna kost (lat. *patellae*) zglobljava se sa bedrenom kosti i ima funkciju zaštite koljenskog zgloba. Zglob koljena je sinovijalni zglob. Sinovijalni zglobovi su okruženi zglobnom čahuricom i sadrže tekućinu, nazvanu sinovijalna tekućina. Distalni dio bedrene kosti spaja se s vrhom proksimalne tibije te tako čini zglob koljena. Na kraju bedrene kosti nalaze se dva okrugla čvora koje nazivamo femoralnim kondilima. Navedeni kondili leže na gornjoj površini tibije. Ta se površina naziva tibijalni plato. Vanjska polovica (najudaljenija od drugog koljena) naziva se lateralni tibijalni plato, a unutarnja polovica (najbliža drugom koljenu) naziva se medijalni tibijalni plato. Iverna kost klizi kroz poseban žlijeb koji čine dva femoralna kondila i taj segment se naziva patelofemoralni žlijeb. Manja kost u potkoljenici, fibula, ne ulazi u sastav zgloba koljena. Fibula se uzglobljuje s bočnom stranom tibije. Ovaj zglob ima vrlo malu pokretljivost. Zglobna hrskavica je materijal koji prekriva krajeve kostiju bilo kojeg zgloba. Zglobna hrskavica je skliska tvar koja omogućuje površinama da klize jedna o drugu kako bi smanjilo njihovo oštećenje. Funkcija zglobne hrskavice je apsorbirati udarce i osigurati iznimno glatku površinu za olakšavanje pokreta. Zglobnu hrskavicu imamo na mjestima gdje se dvije koštane površine pomiču jedna protiv druge ili artikuliraju. U koljenu, zglobna hrskavica prekriva krajeve bedrene kosti, vrh tibije i stražnju stranu patele (Huber i sur., 2000 & Gupton i sur., 2022 & Thompson i sur., 2016)

2.2. Ligamenti i tetive

Ligamenti su čvrste vezivna tkiva koje spajaju krajeve kostiju. Ligamenti koljena su najvažnije strukture koje stabiliziraju zglob. Polaze sa kostiju i hvataju se na kostima. Bez jakih i čvrstih ligamenata koji povezuju bedrenu kost s tibijom, zglob koljena ne bi mogao biti funkcionalan. Za razliku od drugih zglobova u tijelu, zglob koljena nema stabilnu konfiguraciju kostiju (Hassebrock i sur., 2020).

Tetive su slične ligamentima, osim što se tetive vežu mišiće za kosti. Najveća tetiva oko koljena naziva se patelarna tetiva. Ova tetiva povezuje patelu (čšašicu koljena) s tibijom. Također prekriva patelu i nastavlja se uz bedro. Ondje se naziva tetivom kvadricepsa (lat. *m. quadriceps*) jer se veže za mišiće kvadricepsa na prednjoj strani bedra. Mišići koljena na stražnjoj strani natkoljenice također imaju tetive koje se na različitim mjestima pričvršćuju oko zgloba koljena. Te se tetive ponekad koriste kao tetivni graftovi za zamjenu puknutih ligamenata u koljenu (Woo i sur., 2006 & Hassebrock i sur., 2020).

2.2.1. Prednji križni ligament (ACL)

Polazište ACL-a čini tibijalni plato, točnije, sprijeda između interkondilarnih eminencija. Proteže se posteriorno te se pričvršćuje za posteromedijalni dio lateralnog femoralnog kondila. ACL se sastoji od dva snopa – anteromedijalnog i posterolateralnog snopa, nazvanih po svom polazištu na tibiji (Forsythe i sur., 2010 & Chhabra i sur., 2006). Anatomske studije ACL-a i njegova 2 snopa pokazale su da je veličina ACL u rasponu od 31 do 38 mm u dužini i 10 do 12 mm u širini, dok su anteromedijalni i posterolateralni snopovi u rasponu od 6 do 7 mm i 5 do 6 mm u širinu. ACL funkcionalno ima dvostruku svrhu: sprječava prednju translaciju tibije s obzirom na femur i osigurava normalno biomehaničko kretanje zgloba koljena kako bi se spriječilo oštećenje meniskusa. Anteromedijalni snop je napet dok je koljeno u fleksiji, dok je posterolateralni snop napet u ekstenziji. Srednja genikulatna arterija primarno opskrbljuje ACL krvlju, dok ga tibijalni živac inervira i osigurava mehanoreceptore koji doprinose proprioceptivnoj funkciji ACL-a. Ondje nalazimo i minimalan broj vlakana za bol, što nam objašnjava zašto je rijetko prisutna bol nakon akutnog pucanja ACL-a do razvoja hemartroze (Kraeutler i sur., 2017).

2.2.2. Stražnji križni ligament (PCL)

Polazište PCL-a čini lateralna strana medijalnog femoralnog kondila i hvata se posteriorno i lateralno na zglobni plato tibije. Prosječna duljina PCL-a iznosi 38 mm, dok je širina srednjeg dijela u prosjeku 13 mm. PCL ima za oko 20% veću površinu na tibijalnom pripoju od ACL-a i 50% veću površinu na femoralnom pripoju. Kao i ACL, PCL se sastoji od 2 snopa, međutim, snopovi PCL-a nazivaju se anterolateralni i posteromedijalni snop. Primarna funkcija PCL-a je sprječavanje posteriorne translacije tibije s obzirom na femur. Anterolateralni snop (veće površine) zategnut je u fleksiji, dok je manji posteromedijalni snop zategnut u ekstenziji. Primarna vaskularna opskrba PCL-a dolazi također iz srednje genikulatne arterije. Kao i kod ACL-a, živčana funkcija PCL-a prvenstveno je proprioceptivna, a inerviraju ga tibijalni i obturatorni živci (Lopes i sur., 2008 & Harner i sur., 1995 & LaPrade i sur., 2015).

2.2.3 Medijalni dio zgloba koljena

LaPrade i sur. (2007) opširno su opisali 3 sloja (površinski, srednji i duboki) medijalnog dijela zgloba koljena. Površinski sloj ubraja *m. sartoriusa* i duboku fasciju. Srednji sloj sadrži površinski medijalni kolateralni ligament (MCL), stražnji kosi ligament, medijalni patelofemoralni ligament, medijalni patelarni retinakulum i *m. semimembranosus*. Duboki sloj sadrži duboki MCL, kapsulu zgloba koljena i koronarne ligamente. MCL inervira medijalni zglobni živac, grana živca safenusa. Opskrba MCL krvlju dolazi iz gornjih i donjih grana genikulatne arterije (LaPrade i sur., 2007 & Juneja i sur., 2022).

2.2.4. Lateralni dio zgloba koljena

Bočni dio koljena također sadrži 3 sloja (površinski, srednji i duboki sloj). Iliotibijalni traktusi *m. biceps femoris* čine površinski sloj. Lateralni patelofemoralni ligament i lateralni patelarni retinakulum čine srednji sloj. Lateralni (fibularni) kolateralni ligament (LCL), fabelofibularni ligament, tetiva *m. popliteusa*, politeofibularni ligament, zglobna čahura i lučni ligament čine duboki sloj. LCL, politeofibularni ligament i tetiva *m. popliteusa* su 3 primarna stabilizatora koja se obično rekonstruiraju kirurški putem. Inervacija LCL-a dolazi iz 3 različite grane (grane tibijalnog živca koji se grana od inervacije *m. biceps femoris*, grana zajedničkog fibularnog živca uz poplitealnu jamu i odvojena grana zajedničkog fibularnog živca u razini glave fibule). Opskrba krvlju LCL-a dolazi iz grana inferiorne lateralne genikulatne arterije i

prednje tibijalne rekurentne arterije (James i sur., 2015 & Wilson i sur., 2012).

2.2.5. Menisci

Menisci se nalaze između bedrene kosti i tibije. Oni se kolokvijalno ponekad nazivaju hrskavicom koljena, ali menisci se značajno razlikuju od zglobne hrskavice koja prekriva površinu zgloba. Meniskusi koljena važni su iz dva razloga: (1) rade poput brtve za širenje sile od težine tijela na veće područje i (2) pomažu ligamentima u održavanju stabilnosti koljena. Menisci djeluju poput brtve, pomažući u raspodjeli težine s femura na tibiju. Bez meniskusa, sva težina na bedrenoj kosti bit će koncentrirana na jednu točku na tibiji, dok je uz pomoć meniskusa težina ravnomjerno raspoređena po površini tibije. Raspodjela težine meniscima je važna jer štiti zglobnu hrskavicu od prekomjernih sila. Bez meniskusa, koncentracija sile na malo područje na zglobnoj hrskavici može oštetiti zglobnu hrskavicu, što s vremenom dovodi do degenerativnih promjena zglobne hrskavice (Gee i sur., 2021 & Mameri i sur., 2022).

2.3. Muskulatura zgloba koljena

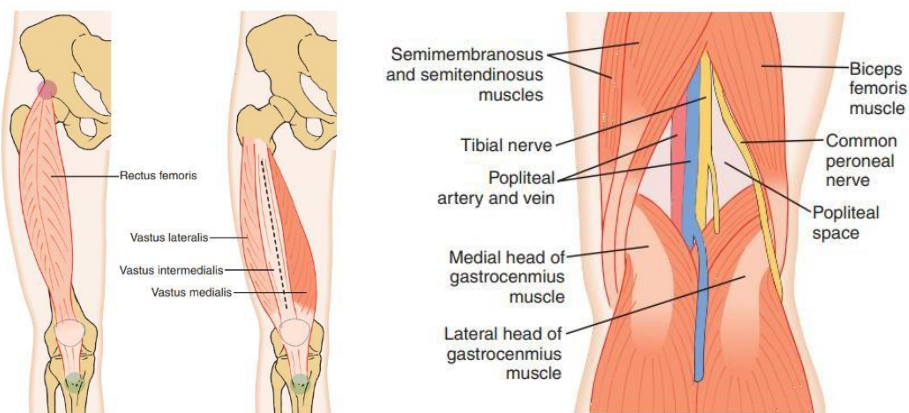
Pod sekundarne stabilizatore zgloba koljena spada muskulatura koja okružuje zglob koljena. Njihove funkcije uključuju kontroliranje kretanja koljena, stupanja u interakciju s neuromuskuarnim sustavom i također igraju vrlo važnu ulogu u proprioceptiji koljena. Većina jednozglobnih mišića oko koljena prvenstveno mobiliziraju i sekundarno stabiliziraju koljeno. Prednji dio koljena sadrži mišić kvadricepsa (*m. quadriceps*) kojeg čine: *m. rectus femoris*, *m. vastus lateralis*, *m. vastus medialis* i *m. vastus intermedius*. Njihova primarna funkcija je ekstenzija zgloba koljena (Flandry i sur., 2011 & Waligora i sur., 2009. & Pagnano i sur., 2006). (Slika 2.5.1.).

Stražnji dio koljena (Slika 2.5.1.) obuhvaća *m. bicepsa femoris* (dvozglonog), *m. semimembranosus* (jednozglonog) i *m. semitendinosus* (jednozglonog), koji tvore skupinu mišića koljena koja funkcionira kao fleksori koljena. Mišić *m. semitendinosus* djeluje kao unutarnji rotator koljena. Mišić *m. plantaris* te medijalna i lateralna glava *m. gastrocnemiusa* su dio stražnje muskulature koljena. Navedena muskulatura prvenstveno djeluje kao plantarni fleksori, a sekundarno kao fleksori koljena (Azzopardi i sur., 2020 & Pinskerova i sur., 2009).

Medijalni dio koljena (Slika 2.5.2.) sastoji se od mišića *m. sartoriusa* i *m. gracilisa* koji sudjeluju u fleksiji zgloba koljena. Također, ubrajamo i iliotibijalni tractus i *m. popliteus*.

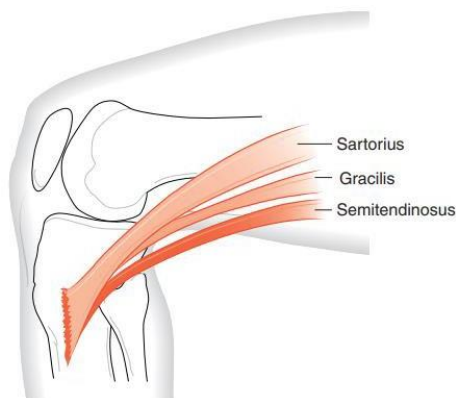
Glavna funkcija ovih mišića, uz *m. semimembranosus* i *m. semitendinosus*, je fleksija koljena, ali ovi mišići djeluju i kao ekstenzori kuka. *Biceps femoris* i *m. semimembranosus* djeluju

kao vanjski rotatori koljena, dok *m. tensor fasciae latae* i iliotibijalni tractus djeluju kao lateralni stabilizatori koljena. Mišić *m. popliteus* rotira koljeno lateralno i medijalno (LaPrade i sur., 2007 & Jorge i sur., 2021).



Slika 2.5.1. Prikaz prednje i stražnje muskulature koljena

Izvor: Lippert, L. (2011). *Clinical kinesiology and anatomy*. F.A. Davis Company.



Slika 2.5.2. Prikaz medijalne muskulature koljena

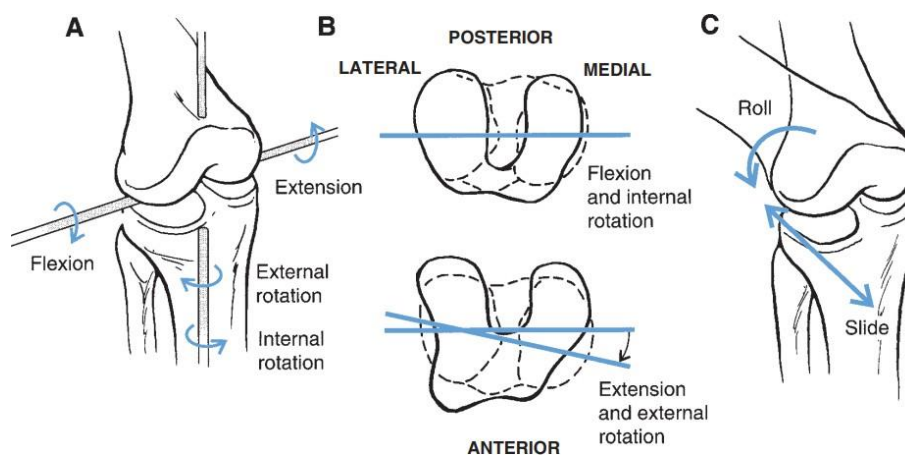
Izvor: Lippert, L. (2011). *Clinical kinesiology and anatomy*. F.A. Davis Company.

Koljeno je inervirano ograncima obturatornog, tibijalnog, femoralnog, te zajedničkog fibularnog živca. Svaku strukturu unutar koljena inervira zajednički ili specifičan živac. Vaskularna opskrba zgloba koljena sastoji se od genikularne grane femoralne i poplitealne arterije, cirkumfleksne fibularne arterije i rekurentne grane prednje tibijalne arterije (Hirschmann i sur., 2015).

3. BIOMEHANIKA ZGLOBA KOLJENA

Biomehanika se definira kao znanost o djelovanju sila na živo tijelo. Zdravi i funkcionalni zglobovi omogućuju kostima koje okružuju zglob da se pomiču dok podnose opterećenje gravitacije uzrokovano kretanjem. Koljeno može izdržati ogromne sile tijekom normalnih faza hodanja kao rezultat interakcije između bedrene kosti, tibije i patele.

Kinematika se definira kao proučavanje gibanja tijela bez obzira na uzrok tog gibanja. Koljeno se giba u sljedećim ravninama gibanja (Slika 3.1.): prednja/stražnja translacija, medijalna/lateralna translacija, cefaladno/kaudadna translacija, fleksija/ekstenzija, unutarnja /vanjska rotacija, te varus/valgus angulacija.



Slika 3.1. Prikaz pokreta u zglobu koljena

Izvor: Hamill, J., Knutzen, K., & Derrick, T. R. (2022). *Biomechanical basis of Human Movement*. Lippincott Williams and Wilkins.

Zglob koljena odgovoran je za pružanje pokreta uz održavanje stabilnosti tijekom statičkih i dinamičkih aktivnosti (Flandry i sur., 2011 & Pinskerova i sur., 2020). Pokreti fleksije i ekstenzije su primarni pokreti koljena. Specifična anatomija zglobnih površina koljena, okolne kapsule mekog tkiva i ligamenata pridonose pasivnom kretanju zgloba koljena. Promatrajući pokret kroz sagitalnu ravninu i pokret fleksije koljena, on nam iznosi od 0 do 135 stupnjeva. Ukoliko je koljeno u ekstenzijskom (ispruženom) položaju i osoba se nalazi u uspravnom stavu rotacija potkoljenice u tom slučaju nije moguća zbog zategnutosti pobočnih sveza, međutim one se pri pokretu fleksije olabave i na 90 stupnjeva fleksije. Prosječni iznos

rotacije prema unutra iznosi 10 stupnjeva, dok rotacija prema van iznosi 40 stupnjeva (Flandry i sur., 2011 & Bull i sur., 1998 & Smith i sur., 2003).

3.1. Funkcionalna biomehanika križnih ligamenata

Križni ligamenti primarno su odgovorni za ograničavanje prekomjernog kretanja koljena naprijed/natrag. Ukoliko dođe do puknuća ili rupture jednog od križnih ligamenata, tzv. ambulatna biomehanika se mijenja. Zbog asimetričnih mjesta na koje se učvršćuju, duljina i napetost ACL i PCL variraju kroz različite stupnjeve fleksije i ekstenzije. Kada je osoba u uspravnom položaju s koljenom u potpunoj ekstenziji, ACL se nalazi pod napetošću dok je PCL labav. U tom položaju je zglob pasivno stabilan s minimalnom mišićnom potporom. Prilikom fleksije koljena, posterolateralni snop ACL-a postaje labav, a PCL se steže. Od 20 do 50 stupnjeva fleksije, koljeno je najmanje stabilno jer su oba križna ligamenta labavija. Kada se povećava pokret fleksije u koljenu, ACL tada postaje vodoravniji u odnosu na liniju zgloba dok PCL postaje okomitiji. Navedena promjena u orijentaciji između ligamenata osigurava dinamičku stabilnost u sagitalnoj ravnini. Sa svakim povećanjem fleksije, PCL se sve više uključuje što sprječava posteriorni pomak tibije (Logterman i sur., 2018 & Flandry i sur., 2011).

Križni ligamenti kontroliraju dinamičko djelovanje pripadajuće muskulature koja okružuje koljeno tijekom fleksije i ekstenzije. Tijekom ekstenzije, ACL će ograničiti prednju translaciju tibije u odnosu na bedrenu kost (događa se kao rezultat djelovanja mišića kvadricepsa koji povlači svoje mjesto hvatišta na prednjoj tibiji). Ukoliko izostane pravovaljana funkcija ACL-a, tada može doći do prednje translacije tibije u sagitalnoj ravnini tijekom kretanja. Kada se to dogodi, središte rotacije se mijenja, što dovodi do povećanog stresa na drugim potpornim strukturama koljena. Točnije, menisci i zglobna kapsula pružaju sekundarnu potporu koja sprječava prednju translaciju i navedene strukture doživljavaju povećani stres kada postoji poremećaj u funkciji ACL-a (Loudon, 2016 & Logterman i sur., 2018).

4. OZLJEDA ACL-a

Ozljede donjih ekstremiteta čine 66% svih sportskih ozljeda, a koljeno je najčešće ozlijeđeni zglob. Posebno važna i razorna vrsta ozljede kod koljena je ruptura ACL-a. Ozljede ACL-a česte su kod sportaša koji se bave trkačkim sportovima koji zahtijevaju česte skokove i nagle promjene pravca kretanja poput rukometa, a značajno su češće kod sportašica koje se bave takvim sportovima. Kao i kod svake ozljede, razumijevanje mehanizama nastanka ozljede ACL-a pomoglo je u određivanju potencijalnih čimbenika rizika za ozljedu i, stoga, u identificiranju područja za intervenciju i razvoj strategija prevencije. Zbog povećane učestalosti ozljeda ACL-a kod sportašica, mnogi naponi u prevenciji usmjereni su izravno na ovu populaciju (Kelly, 2008 & Padua i sur., 2018).

4.1. Mehanizam nastanka ozljede ACL-a

Većina ozljeda ACL-a nastaje putem beskontaktnog mehanizma (približno 70% ozljeda ACL-a događa se u situacijama bez kontakta). U intervjuima sa sportašima neposredno nakon ozljeđivanja i procjenom video snimki (ukoliko postoje) zaključujemo da se većina beskontaktnih ozljeda ACL-a događa tijekom doskoka, usporavanja ili promjene smjera (zaokretanjem). Analizom je utvrđeno da je donji ekstremitet sportaša u trenutku ozljede u valgus položaju s pronacijom stopala i relativnom ekstenzijom koljena i kuka (Peterson i sur., 2014 & Olsen i sur., 2004). Navedena opažanja sugeriraju da doskok s koljenom i kukom (u minimalnom fleksiji) i donjim ekstremitetima u valgus položaju mogu utjecati na povećanje rizika od ozljede ACL-a. Također su zabilježene visoke stope istegnuća ACL-a kada je koljeno u gotovo potpunoj ekstenziji, potvrđujući ideju da doskok ili zakretanje s koljenom u položaju potpune ekstenziji dovodi ACL u opasnost. Nadalje, utvrđeno je da sportašice (koje imaju veću učestalost ozljeda ACL-a nego muškarci) doskaču s koljenom u većem dinamičkom valgusu i manjoj fleksiji od muškaraca (Griffin i sur., 2006 & Hewett i sur., 2006). Time je logično da neuromuskularni obrasci doskoka ili okreta s donjim ekstremitetom u većem položaju valgusu ili blizu pune ekstenzije mogu povećati rizik od ozljede ACL-a. Mnoga istraživanja su provedena i uloženi su veliki naponi da se utvrdi koji su to neuromuskularni čimbenici i da se razviju metode za sprječavanje ozljeda ispravljanjem „krivih“ obrazaca. Nadalje, snaga tetive zgloba koljena i kvadricepsa, snaga mišića hamstringsa, nagib zdjelice, kut koljena, izraženi disbalans mišića donjih ekstremiteta, obrasci doskoka, propriocepcija i izdržljivost mišića procijenjeni su kao potencijalni čimbenici rizika od ozljede ACL-a (Peterson i sur., 2014).

4.2. Rizični faktori

Čimbenici rizika tradicionalno se mogu kategorizirati kao intrinzični ili ekstrinzični, što znači unutarnji ili vanjski za pojedinog sportaša. Intrinzični čimbenici uključuju anatomiju, hormone, genetiku i kvalitete neuromuskularnog sustava (npr. omjer snage kvadricepsa/stražnje lože). Dok obično vanjski čimbenici uključuju vremenske uvjete, podlogu za igru (materijalni uvjeti igre), sportsku opremu... Očito da je golemi fokus rizika na intrinzičnoj (individualnoj) razini, s manjim utjecajima okoline na treniranje i ponašanje protivnika (Parsons i sur., 2021 & Renstrom i sur., 2008).

5. PREVENCIJA OZLJEDE ACL-a

Razvijeno je mnogo različitih preventivskih programa smanjenja rizika i/ili prevencije ozljeda ACL-a koji uključuju pliometriju, neromuskularni trening i trening snage. Nessler i sur. (2017) zaključuju da postoje snažni dokazi u prilog programima prevencije ozljeda ACL-a koji pokazuju smanjenje rizika od 85% kod sportaša te 52% kod sportašica. Većina istraživanja koja obuhvaćaju preventivni program međusobno koriste specifična načela i specifične komponente u preventivnom programu (Nessler i sur., 2017).

Sugimoto i sur. (2015) analizirajući mnogobrojne preventivske programe, sumirajući ih, predlažu upotrebu pet kritičnih principa kojih se treba pridržavati pri razvoju programa prevencije ozljeda ACL-a. Ta načela uključuju dob, biomehaniku, doziranje, povratnu informaciju i raznolikost vježbi (Sugimoto i sur., 2015).

5.1. Načela preventivnog programa

Dob → Preporuča se da program prevencije od ozljede ACL-a bude implementiran od rane dobi. Sugimoto i sur. (2015) & Mandelbaum i sur. (2005) uviđaju izrazito manji postotak ozljeda ACL-a kod mlađih sportaša koji su izvodili program neuromuskularnog treninga u usporedbi sa starijim sportašima koji su izvodili isti program (Mandelbaum i sur., 2005 & Sugimoto i sur., 2015).

Biomehanika → Loši biomehanički obrasci kretanja povezani su s povećanim opterećenjem ACL-a tijekom različitih obrazaca kretanja i sportskih aktivnosti s povećanim valgusom koljena kao jednim od najjačih pokazatelja povećanog rizika od ozljede ACL-a (Hewett i sur., 2011).

Doziranje → Često sudjelovanje u programu prevencije ACL-a smanjuje rizik nastanka ozljeda ACL-a. Većina istraživanja sugerira da bi svaki trening prevencije trebao trajati između 15 i 20 minuta i da bi se trebao izvoditi nekoliko puta tjedno. Optimalno je započeti u predsezoni i nastaviti tijekom cijele sezone kako bi se postigla puna učinkovitost programa (Voskanian, 2013).

Povratna informacija → Mnoge studije koje su u svom preventivskom programu uključivale neku vrstu povratne informacije (bilo verbalno ili vizualno) opisuju pozitivne učinke. Povratne informacije mogu biti u obliku verbalnih znakova trenera ili partnera za trening, ali mogu biti i vizualne kao u videu treninga. Povratna informacija također bi trebala doći u obliku vanjskog fokusa nasuprot unutarnjeg fokusa. Vanjski fokus usmjeren je na ishod ili učinke pokreta, pomaže kod automatizacije pokreta i ubrzava proces učenja. Kada, primjerice, podučavamo pravilnu mehaniku

doskoka, naredba vanjskog fokusa bi bila: "Pokušajte dovesti koljena što bliže vanjskim zidovima kada doskočite". Unutarnji fokus više je usmjeren na specifične pokrete, a bi uputa bila: "drži koljena vani", a taj stalni fokus na ispravan pokret može dovesti do smanjenja motivacije sportaša. Preporučuje se da se sustav povratnih informacija implementira u program prevencije ACL-a s tzv. vanjskim fokusom (Gilchrist i sur., 2008)

Raznolikost vježbi → Programi treninga za prevenciju ozljeda ACL-a koji sadrže niz različitih vježbi imaju veću učestalost smanjenja rizika od ozljeda s obzirom na programe koji uključuju jednu vrstu vježbe/komponenti (pliometriju, ravnotežu, jačanje). Ove se vježbe uglavnom mogu klasificirati u tri različite komponente: pliometrija, neuromuskularni trening te trening snage. Smatra se da bi sveobuhvatan trening prevencije trebao koristiti sve 3 komponente (Sugimoto i sur., 2014).

5.2. Komponente vježbi preventivnog programa

Pliometrija → Pliometrija usmjerena na pravilnu tehniku i tjelesnu mehaniku može pomoći u smanjenju ozljeda ligamenata, posebno ozljeda ACL-a (Pfeiffer i sur., 2006).

Neuromuskularni trening → Cilj neuromuskularnog treninga je poboljšati sposobnost generiranja optimalnih obrazaca pokretanja mišića, povećati dinamičku stabilnost zgloba i izvođenje obrazaca pokreta i vještina potrebnih tijekom svakodnevnih životnih i sportskih aktivnosti (Wilk i sur., 2012).

Trening snage → Programi koji su se sastojali od treninga snage pokazali su se kao najučinkovitije rješenje za smanjenu stopu ozljeda ACL-a, međutim, primjena samo treninga snage možda neće biti u potpunosti učinkovita za prevenciju. Trening snage u kombinaciji s drugim komponentama (pliometrija, agilnost i dr.) dat će najbolje rezultate (Myklebust i sur., 2003).

6. PREVENCIJA ACL-A I PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

Marshall i sur. (2007) nalažu da većina beskontaktnih ozljeda ACL-a dolazi zbog nekontroliranih biomehaničkih odnosa donjih ekstremiteta. Stoga smatraju da se prevencija ozljeda ACL-a može postići provedbom programa treninga koji poboljšavaju neuromuskularnu kontrolu pojedinca i biomehaniku donjih ekstremiteta.

Padua i sur. (2018) uspoređuju dvije vrste treninga prevencije (jednokomponentni i dvokomponentni). U usporedbi s jednokomponentnim programima treninga, višekomponentni programi treninga ili programi koji zahtijevaju više od 1 vrste vježbi (npr. agilnost, ravnoteža, fleksibilnost) pokazali su se učinkovitijima u smanjenju ozljeda ACL-a. Stoga se preporučuje da višekomponentni program treninga za prevenciju ozljeda uključuje, barem, povratne informacije o pravilnoj tehnici vježbanja za najmanje 3 od sljedećih vrsta vježbi: snaga, pliometrija, agilnost, ravnoteža i fleksibilnost.

Herrington i sur. (2010) & Chappell i sur. (2008) & Lephart i sur. (2005) kažu da provedbom višekomponentnog treninga u prevenciji ozljede ACL-a dolazi do poboljšanja biomehanike donjih ekstremiteta (npr. povećanje kretnji u sagitalnoj ravnini i smanjenje opterećenja na zglobove koljena), pravovaljane aktivacije mišića (npr. povećanje aktivnosti hamstringsa i glutealne muskulature), smanjenje sile udarca pri doskoku i općenito povećanje snage.

Grindstaff i sur. (2006) & Sadoghi i sur. (2012) sugeriraju na prednosti davanja povratnih informacija o tehnici kretanja (npr. "meko sletite", "držite koljena iznad nožnih prstiju", "savijte koljena i kukove"). U istraživanju su provodili višekomponentni program treninga koji je uključivao sljedeće kategorije vježbi: snaga, pliometrija, agilnost, propriocepcija i fleksibilnost. Smatraju da bi se vježbe za prevenciju ozljeda trebale izvoditi na progresivnim razinama intenziteta koje su izazovne i omogućuju izvrsnu kvalitetu pokreta i tehnika.

Myklebust i sur. (2013) & DiStefano i sur. (2016) proučavajući optimalan volumen (učestalost i trajanje) treninga dolaze do saznanja i preporuka da višekomponentne programe treninga treba provoditi tijekom predsezone i u sezoni. Preporuča se izvođenje najmanje 2 do 3 ponavljanja tjedno tijekom predsezone i u sezoni. Kako bi se zadržale prednosti smanjene stope ozljeda i poboljšane neuromuskularne funkcije i izvedbe tijekom vremena, višekomponentni programi treninga (prije sezone, tijekom sezone i izvan sezone) trebali bi se provoditi svake

godine, a ne prekidati nakon jedne sezone.

LaBella i sur. (2011) & Mandelbaum i sur. (2005) smatraju da programe višekomponentnog treninga trebaju redovito nadzirati pojedinci koji su vješti u prepoznavanju pogrešnih obrazaca kretanja kako bi se osigurala izvrsna kvaliteta pokreta i dala povratna informacija o tehnici vježbanja. Također, programi višekomponentnog treninga su učinkoviti kada se provode kao dinamičko zagrijavanje ili kao dio opsežnog programa snage i kondicije. Ukoliko postoji vremensko ograničenje u provedbi preventivskog programa, na temelju dokaza smatra se da se višekomponentni programi treninga mogu izvesti u 10 do 15 minuta kao dio dinamičkog zagrijavanja prije početka treninga ili utakmica.

DiStefano i sur. (2011) provodeći višekomponentni trening izvještavaju o uspjehu smanjenja reakcija sila na koljeno, povećanje pokretljivosti fleksije u koljenu i kuku, smanjenje valgus položaja koljena, rotacije koljena, addukcije kukova i rotacije kukova.

Myer i sur. (2007) dokazuju da preventivni programi treninga mogu poboljšati sposobnost ravnoteže s jednom nogom kod aktivnih, asimptomatskih sportaša. Loša ravnoteža jedne noge ukazuje na poremećenu neuromuskularnu kontrolu i faktor je rizika za ozljedu donjih ekstremiteta, posebice ACL-a.

Steffen i sur. (2013) pokazuju istovremeno smanjenje stope ozljeda i poboljšanu ravnotežu nakon što su adolescentice i sportašice izvele specifični preventivni program treninga za ACL. Ovo otkriće podupire ulogu ravnoteže i neuromuskularne kontrole u smanjenju rizika i prevenciji ozljeda. Uz smanjenje stope ozljeda i modificiranje neuromuskularnih čimbenika povezanih s rizikom od ozljeda, istraživači sugeriraju da preventivni programi treninga također mogu poboljšati snagu mišića i različite atletske izvedbe (npr. visina skoka, udaljenost skoka, brzina skoka, brzina sprinta).

Darin i sur. (2018) detaljno objašnjavaju svrhu svake pojedine komponente vježbi i što bi ona trebala sadržavati. Trening snage usredotočen je na poboljšanje proizvedene mišićne sile pomoću vlastite tjelesne težine, slobodnih utega ili sprava s otporom. Pliometrijski trening uključuje eksplozivne pokrete, kao što su ponavljani skokovi ili doskoci. Trening agilnosti bavi se s nekoliko važnih motoričkih vještina (npr. ubrzanje, usporavanje, brze promjene smjera). Svaka se navedena komponenta može provoditi pojedinačno, a zatim se komponente mogu kombinirati u treningu agilnosti. Vježbe ravnoteže često uključuju zadatke jednonožnog ili dvonožnog položaja koji uključuju različite razine vizualnih opcija (oči otvorene i zatvorene), stabilnost ili tvrdoću površine (stabilno, nestabilno, tvrdo, meko) i vanjske poremećaje (npr. hvatanje nekog predmeta rukama). Naposljetku, trening fleksibilnosti fokusiran je na statičko ili dinamičko

istezanje.

Gagnier i sur. (2013) u provedenoj meta analizi navode najčešće korištene vježbe (Tablica 6.1.) u višekomponentnom programu.

Tablica 6.1. Prikaz specifičnih vježbi snage, pliometrije, propriocepcije, agilnosti i fleksibilnosti koje su uključene u višekomponentne programe za prevenciju ozljede prednjeg križnog ligamenta.

Vježbe snage	Pliometrija	Agilnost	Propriocepcija	Fleksibilnost
Podizanje trupa	Skok iz čučnja	Visoki skip	Čučanj skok sa stabilizacijom	Istezanje mišića lista
Izdržaj	Skokovi na povišenje	Niski skip	Okret za 180° sa stabilizacijom	Istezanje mišića stražnje lože
Bočni izdržaj	Skok okret 180°	Trčanje sa zaustavljanjem	Jednonožna stabilizacija	Istezanje mišića kvadricepsa
Podizanje kukova	Skok u dalj	Trčanje naprijed-nazad	Stabilizacija na neravnim površinama	Zamasi nogama
Potisak nogu	Jednonožni skokovi u dalj	Bočni skip	Stabilizacija uz pomoć partnera	Istezanje mišića primicača
Čučanj	Skokovi s noge na nogu	Srednji skip	Stabilizacija sa elastičnim otporima	Rotacija trupa
Jednonožni čučanj	Marinci	Trčanje s promjenom smjera kretanja	Vježbe za narušavanje ravnoteže	Istezanje donjeg dijela leđa
Prednji iskorak	skokovi s iskorakom	Medvjede puzanje	Poskoci, naskoci i saskoci	Zabacivanje potkoljenice
Sklekovi	Skokovi u sklekovima	Poskoci s jedne na drugu nogu	Izvođenje vježbi sa zatvorenim očima	Zamasi rukama
Zgibovi	Bočni skokovi	Bočni jednonožni skokovi	Stabilizacija uz manipulaciju objektima	Izbacivanje natkoljenice
Bočni iskorak		Trčanje unatrag		

Potisak s prsa		Trčanje cik- cak		
----------------	--	---------------------	--	--

Višekomponentni programi preventivnog treninga obično uključuju 1 do 3 vježbe iz svake kategorije. Ove se vježbe često izvode u vremenskom razdoblju od 15 do 20 minuta kao dio dinamičkog zagrijavanja prije sportskih aktivnosti. Specifične vježbe i odabrani intenzitet trebaju se temeljiti na sposobnosti pojedinca da dovrši vježbe s izvedbom pravilne tehnike.

Sugimoto i sur. (2015) naglasak stavljaju na detaljnom ispitivanju utjecaja statičkog istežanja, a naglašavaju da treba uzeti u obzir kada se statičko istežanje izvodi tijekom programa preventivnog treninga. Statičko istežanje može rezultirati negativnim akutnim učincima na maksimalnu mišićnu snagu i eksplozivnu izvedbu mišića i stoga ga je najbolje uključiti na kraju treninga, a ne tijekom dinamičkog zagrijavanja.

Sugimoto i sur. (2014) u provedenoj meta-analizi nailaze na obrnuti odgovor na dozu između programa preventivnog treninga i stopa ozljeda ACL-a (tj. povećana doza bila je povezana sa smanjenim stopama ozljeda ACL-a). Ispitivani su učinci dviju vrsta treninga, kratkog (-20 minuta) i dugog (+20 minuta). Rizik smanjenja ozljede ACL-a prisutan je kod oba treninga, ali dugotrajni treninzi smanjili su rizik od ozljede ACL-a za 26% više od kratkotrajnih sesija.

Soligard i sur. (2008) ispituju povezanost frekvencije (učestalosti treninga) na ishod prevencije ozljede ACL-a. Primjećuju da su igrači koji su provodili preventivni program treninga u prosjeku (1,5 puta tjedno) imali 35% manji rizik od ozljede ACL-a u usporedbi s onim igračima koji su bili manje redoviti (0,7 puta tjedno). Dokazuju da su 2 ili više treninga tjedno povezana s 27% nižim rizikom od ozljede ACL-a nego jedan trening tjedno. Na temelju dokaza koje smo dobili, višekomponentne programe preventivnog treninga trebalo bi se provoditi 2 do 3 puta tjedno kako bi se postigla minimalna doza potrebna za smanjenje stope ozljeda ACL-a.

Gagnier i sur. (2013) ispituju učinke ukupnog trajanja preventivnog programa, budući da može biti potrebna minimalna količina ukupnog vremena treninga kako bi se poboljšali čimbenici neuromuskularnog rizika i smanjio rizik nastanka ozljeda. Izvještavaju da su programi s duljim trajanjem praćenja (14+ mjeseci) i većim brojem sati treninga tjedno (0,75 h/tjedno) bili učinkovitiji u smanjenju stopa ozljeda ACL-a. Yoo i sur. (2010) pokazali su da je provođenje programa preventivnog treninga tijekom predsezone i tijekom sezone bilo učinkovitije u smanjenju stopa ozljeda nego njihovo izvođenje samo tijekom predsezone ili tijekom sezone. Kako bi se odvojilo dovoljno vremena za modificiranje neuromuskularnih čimbenika rizika i postizanje dugotrajnog zadržavanja, preporučuje se da programi treninga za prevenciju ozljeda započnu rano u predsezoni i nastave tijekom sezone kako bi se osiguralo

dovoljno ukupno trajanje treninga i smanjile stope ozljeda ACL-a. Sumirajući sve činjenice, iako se ne može preporučiti poseban program treninga za prevenciju ozljeda (kombinacija vježbi, trajanje jednog treninga, učestalost treninga ili ukupno trajanje treninga), dokazi sugeriraju da višekomponentni preventivni programi treninga mogu smanjiti ozljede ACL-a do 75 % ako se provodi redovito (2-3 puta tjedno) počevši od predsezone.

Prilikom osmišljavanja i programiranja trenažnog procesa preventivnog treninga, kineziolozi bi trebali pažljivo razmotriti (1) količinu vremena potrebnog za završetak jednog treninga, (2) upotrebu vježbi specifičnih za sport i (3) uključujući različite vježbe koje se mogu modificirati ili napredovati tijekom vremena. Padua i sur. (2014) u svojim smjernicama za provođenje preventivnog treninga preporučuju da se provodi dinamičko zagrijavanje prije treninga ili kao dio sveobuhvatnog programa snage i kondicije. Navode ključne čimbenike provedbe koje treba sagledati: (1) edukacija sudionika o relativnim prednostima provođenja programa, (2) osposobljavanje pojedinaca da budu samouvjereni u vođenju programa osposobljavanja i pružanju odgovarajućih povratnih informacija i (3) redovito praćenje tijeka programa i ispravne tehnike izvođenja vježbi. Od iznimne je važnosti da svi sudionici programa (treneri, sportaši, roditelji) razumiju važnost i relativne prednosti redovitog provođenja programa. Stoga, edukacija ovih pojedinaca o tome kako preventivni programi mogu smanjiti rizik od nastanka samih ozljeda i optimizirati izvedbu može pomoći u postizanju željenih ciljeva. Odgovarajuća osposobljenost pojedinca koji vodi preventivni program je ključna za postizanje visoke stope uspješnosti. Stoga bi pojedinac koji vodi preventivni program treninga trebao biti obučen kako pravilno izvoditi svaku vježbu i kako pružiti odgovarajuću povratnu informaciju o kvaliteti pokreta i tehnici vježbanja kako bi se osiguralo da je on ili ona samouvjeren i kompetentan u vođenju ovih vježbi.

Sagledavajući ove čimbenike koji se odnose na dizajn i provedbu programa, uz odgovarajući odabir vježbi, vjerojatnost postizanja veće stope uspješnosti se može postići što za rezultat ima smanjenje stope ozljeda ACL-a. Posljednje područje razmatranja je populacija na kojoj će se program primijeniti. Preporučuje se da sva djeca koja se bave sportovima koji uključuju doskok, skakanje i promjene smjera (npr. košarka, nogomet, rukomet) koji imaju visoki rizik od ozljeda ACL-a usmjere na programe preventivnog treninga od rane dobi (DiFiori i sur., 2014 & Morgan i sur. 2013).

Idealno vrijeme za započeti preventivne programe treninga bi bilo kod osoba mlađih od 15 godina, s obzirom na veći učinak takvog treninga kada se provodi u srednjoj dobi u odnosu

na stariju dob. Iako rana intervencija kod mladih sportaša može poboljšati dugoročne prednosti prevencije ozljeda, ključno je da se programi preventivnog treninga prikladno modificiraju za mlađe sportaše. Myer i sur. (2013) navode listu preporuka prilikom provedbe preventivnog programa kod djece. Preporuča se sljedeće: (1) uključivanje obrazaca kretanja koji su razvojno prikladni za djecu (npr. balansiranje, trčanje, preskakanje, doskok, čučnjevi) uz pokrete specifične za sport. (npr. doskok u skoku, zaustavljanje u skoku, cik-cak pokreti), (2) naglašavanje kvalitete pokreta davanjem redovitih povratnih informacija o pravilnoj tehnici vježbanja, (3) skraćanje treninga ili podjela na više kraćih segmenata ovisno o rasponu pažnje djeteta.

Djeca prvenstveno trebaju razviti opće temelje motoričkih vještina i snage te bi time smanjili rizik od budućih ozljeda. Provedba programa koji odgovaraju razinama kognitivnog i neuromuskularnog razvoja pojedinog djeteta vjerojatno će promicati samopouzdanje i intrinzičnu motivaciju za sudjelovanje i kontinuirano poboljšanje. Važno je prilagoditi preventivni program potrebama djece tijekom njihovog razvoja. To se osobito odnosi na period adolescencije, kada brze promjene u duljini udova i tjelesnoj masi mogu rezultirati disbalansom mišićne fleksibilnosti i snage, kao i privremenim padom koordinacije i ravnoteže. Svaki bi program trebao započeti s osnovnim temeljnim vježbama, kao što su čučanj i vježbe stabilnosti, a implementacija navedenih komponenti osigurava da sva djeca steknu osnovne temelje snage, ravnoteže i kontrole kretanja. Djeci su potrebne stalne povratne informacije o njihovoj tehnici vježbanja kako bi se optimiziralo motoričko učenje. Prevencijski programi bi trebali omogućiti postupnu, jednostavnu progresiju (npr. progresija na unilateralne vježbe, nestabilne površine) i uključiti vježbe specifične za sport kako bi se promicao prijenos pravilne kontrole kretanja na rizične aktivnosti (Lubans i sur. 2010 & Emanuel i sur., 2008).

7. KLJUČNE ZNAČAJKE U PREVENCIJI OZLJEDE ACL-a U RUKOMETU

Općenito se savjetuje da treninzi budu prilagođeni želji igrača da poboljšaju izvedbu i da se u isto vrijeme radi na poznatim visokorizičnim situacijama koje doprinose ozljeđivanju. Atletski trening i koordinacija, npr. trening snage, stabilizacija i propriocepcija doprinose poboljšanju performansi kao i prevenciji ozljeda. Vježbanje ispravne tehnike treba trenirati u specifičnim obrascima pokreta koji se koriste u rukometu, a koji često dovode do ozljeda, npr. skokovi, doskoci i finte (Myklebust i sur., 2013 & Olsen i sur., 2004 & Peterson i sur., 2005).

Temeljne komponente koje bi svaki preventivni program trebao uzeti u obzir:

- Vježbe za poboljšanje tehnike doskoka, skakanja, naglih promjena smjera, cik-cak pokreta. Uz to se savjetuju vježbe ravnoteže i jačanja. Pravilna tehnika izvođenja i disciplina su bitni, a vježbe bi trebali nadzirati kompetentni treneri.
- Strukturirani programi zagrijavanja koji uključuju vježbe agilnosti, ravnoteže, snage i kretnje specifične za rukomet (cilj vježbi je poboljšanje kontrole zgloba koljena i zglob gležnja tijekom doskoka i pokreta tzv. pivotiranja). Predlaže se započinjanje svakog programa sa uvježbavanjem tehnike pokreta i treninga ravnoteže (različite balans ploče, strunjače i sl.)
- Preventivni program bi trebao započeti već kod mlađih uzrasta (6-10 godina) i trebao bi se nastaviti u adolescenciji i u odrasloj dobi.
- Strukturirano zagrijavanje i vježbe mobilizacije prije treninga i utakmica, poboljšanje fleksibilnosti, stabilnosti jezgre i koordinacije specifične za rukomet, briga i osviještenost o prikladnoj obući i podlozi.
- Redovita primjena vježbi ravnoteže, koordinacije, skoka i snage kao dio rutine zagrijavanja u rukometnom treningu (predsezonski, sezonski) kako bi se spriječile ozljede koljena i gležnja, posebno među sportašicama.
- Prevencija ozljeda ACL kroz neuromuskularni trening kod rukometaša/ica. Uspjeh ovisi isključivo o posvećenosti igrača s rasporedom treninga.
- Trenažni program osnovnih vježbi za stabilizaciju jezgre i ramenog obruča, vježbe ravnoteže i koordinacije te pravilnu tehniku skoka i doskoka.
- Preporuča se odabrati 5-6 vježbi po pojedinačnom treningu koje pokrivaju elemente stabilizacije i koordinacije koljena i ramena kao sastavni dio rutine zagrijavanja.

Tijekom predsezona program bi trebao biti uključen u svaki termin, a tijekom redovne sezone dva puta tjedno.

- Neuromuskularni trening može pomoći u smanjenju ACL ozljeda kod sportaša/ica ako (1) su vježbe pliometrije, ravnoteže i vježbe jačanja uključene u sveobuhvatni protokol treninga, (2) treninzi se izvode više od 1 puta tjedno, (3) trajanje programa treninga je najmanje 6 tjedana.
- Programi preventivnog treninga trebali bi uključivati vježbe snage i eksplozivnosti, neuromuskularni trening, pliometriju i vježbe agilnosti (trebali bi biti integrirani u rutinu zagrijavanja redovitog treninga)
- Odgovarajuće zagrijavanje uključujući aktivaciju, mobilizaciju/istezanje i preventivne vježbe (npr. propriocepcija, ravnoteža) koje bi trebale biti dio svakog treninga. Osim toga, trebao bi biti redoviti strukturirani preventivni program koji sadrži (a) osnovno jačanje
(b) napredno jačanje s integralnim tehničkim, koordinativnim i kognitivnim rukometnim elementima (c) individualnu/pozicijski specifičnu pripremu za tipične mehanizme ozljede primijeniti. Učestalost, intenzitet i kontekst vježbi ovise o fazi sezone i individualnom statusu sportaša.
- Održivost i uspješnost (npr. prihvaćanje među sportašima i trenerima) ključni su kriteriji za uspješan program. Idealno bi bilo da se ovi preventivni programi uvedu što je ranije moguće u karijeri sportaša.

8. PRIMJER PROGRAMA PREVENCIJE ZA IGRAČE RUKOMETA

Svrha ovog poglavlja je prikazati primjer trenažnog programa prevencije ozljeda ACL-a kod rukometašica i rukometaša. Navedeni program je osmišljen s ciljem kako bi se smanjio rizik od nastanka ozljede koljena i poboljšala ukupna sportska izvedba korištenjem višestranog pristupa neuromuskularnog i proprioceptivnog treninga. Poznati čimbenici rizika za ozljedu koljena uključuju: promjenjive obrasce pokreta, dinamički valgus koljena, nepravilan doskok, dominaciju kvadricepsa, dominaciju noge i nedostatak kontrole jezgre. Program se može provoditi u danima treninga (npr. prije treninga u sklopu zagrijavanja) ili u danima kada sportaš odmara. Mogućnost provedbe u takvim uvjetima je taj što trening ne zahtijeva veliki intenzitet niti ekstenzitet, ali je potrebna sportaševa koncentracija zbog specifičnosti vježbi koje se koriste. Također mnoge vježbe uključuju širi kinetički lanac s ciljem ispravljanja pogrešnih obrazaca kretanja koji dovode do nepravilnih biomehaničkih odnosa i time povećavaju rizik od ozljede.

Program prevencije može zamijeniti tradicionalno zagrijavanje, obično vrijeme trajanja programa je od 15-30min (ovisno o utreniranosti) i provodi se minimalno 2-3 puta tjedno. Trajanje pojedine vježbe i pravilan način izvođenja biti će objašnjen.

Navedeni program prevencije posebno se usredotočuje na modificiranje tih čimbenika rizika naglašavanjem ispravnih biomehaničkih obrazaca pokreta kroz:

- Vježbe dinamičkog istezanja i mobilnosti
- Aktivacijske vježbe za kuk i jezgru
- Vježbe snage za donje ekstremitete
- Trening agilnosti i pliometrijski trening
- Vježbe specifične za rukomet
- Reedukacija kretanja

Uz osnovne vježbe koje se izvode prije treninga (npr. trčanje), snažno se preporuča primjena neuromuskularnih, proprioceptivnih vježbi i vježbi ravnoteže, kao i vježbi stabilizacije jezgre i koordinacije. Osim toga, na kraju zagrijavanja treba uključiti vježbe pliometrije i agilnosti. Osnovne rukometne obrasce pokreta koji su povezani s povećanim rizikom od ozljeda sportaš može uvježbavati tijekom zagrijavanja. To znači dodavanje

tehničkih vježbi koje su osmišljene za poboljšanje kontrole koljena i gležnja tijekom skakanja, doskoka i cik-cak aktivnosti

8.1. Dinamičko zagrijavanje

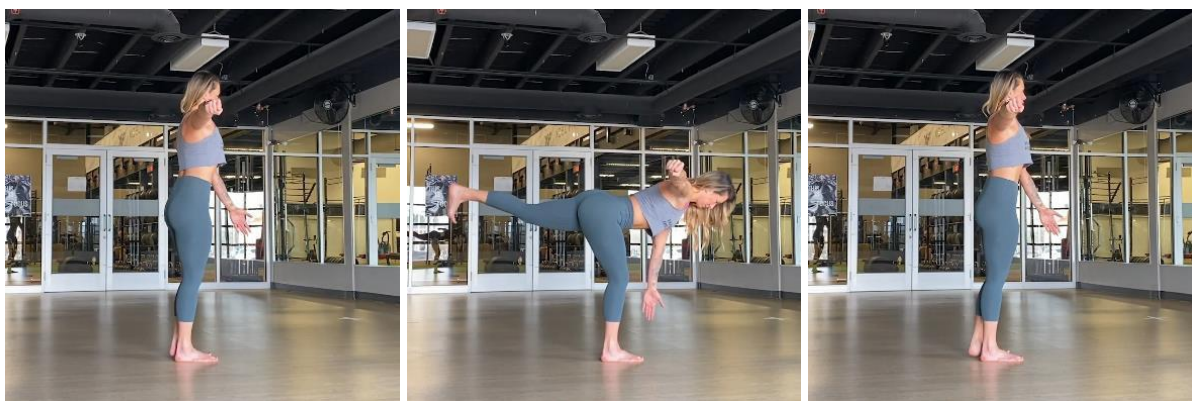
Svrha zagrijavanja je pripremiti sportaše za aktivnost. Trenutna istraživanja pokazuju da dinamičke aktivnosti zagrijavanja mogu smanjiti rizik od ozljeda i mogu biti korisnije od statičkog istezanja. Kada se sportaš statički isteže on nije u pokretu, dok se dinamičkim zagrijavanjem kretanja dešava. To znači da sportaš može vježbati pokrete koji su relevantni za sport, što samo po sebi može poboljšati izvedbu. Literatura pokazuje da je dinamičko istezanje bolje od statičkog istezanja kao dio zagrijavanja za tjelesnu aktivnost jer je zagrijavanje tada slično izvođenju vježbi koje će uslijediti (Zmijewski i sur., 2020).

Popis vježbi i objašnjenje izvođenja:

Trajanje: svaka vježba od 20-30 sekundi

1) *Jednonožno rumunjsko mrtvo dizanje*

Osoba je u stavu sa stopalima u širini ramena i blago savijenim koljenima te podiže jednu nogu od poda. Bez dodatnog savijanja u koljenu i s leđima u prirodnom (neutralnom) položaju spušta se u pretklon fleksijom zgloba kuka dok se desna noga podiže u zrak unatrag. Srednji položaj je položaj tzv. vage i iz srednjeg položaja tijelo se vraća u početni položaj istim putem.



Slika 5. Početni položaj

Slika 6. Srednji položaj

Slika 7. Krajnji položaj

Izvor: <https://www.girlsgonstrong.com/blog/articles/how-to-do-a-single-leg-romanian-deadlift/>

2) Dinamičko istezanje kvadricepsa

Osoba je u stojećem položaju sa stavom stopala u širini kukova. Čineći korak prema naprijed u isto vrijeme podiže stopalo prema stražnjici potpomažući rukom dok je suprotna ruka u zraku, isti postupak se ponavlja na suprotnoj nozi.



Slika 8. Početni položaj

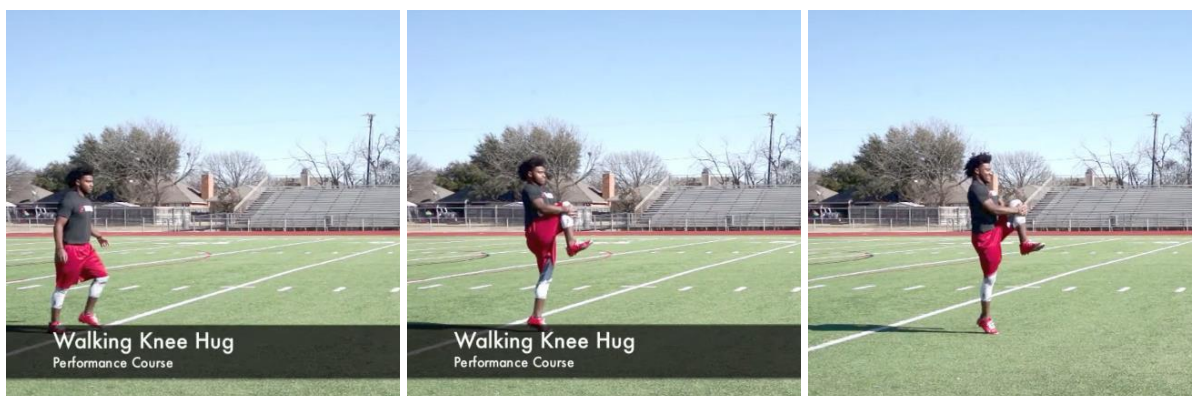
9. Desna noga

10. Lijeva noga

Izvor: <https://www.setforset.com/blogs/news/quad-stretch>

3) Zagrljaj koljena

Osoba je u stojećem uspravnom položaju. Radi korak prema naprijed i podiže koljeno što je više moguće u smjeru torza hvatajući koljeno objema rukama. Vrlo je bitno držati cijelo vrijeme uspravan položaj i održavati napetost jezgre. Navedena vježba izaziva ravnotežu, stabilnost jezgre i pokretljivost zglobova.



Slika 11. Početni položaj

Slika 12. Desna noga

Slika 13. Lijeva noga

Izvor: <https://www.yourhousefitness.com/blog/knee-to-chest-stretch-walking-knee-hugs>

4) Hodajuće povlačenje noge s rotacijom kukova

Osoba je u stojećem uspravnom položaju s rukama na boku i nogama u širini ramena. Radi iskorak lijevom nogom prema naprijed i podiže desni gležanj što bliže torzu u smjeru lijevog ramena. Lijevom rukom hvata desni gležanj i povlači prema torzu što je više moguće (potkoljenica bi trebala biti paralelna s tlom). Isti postupak ponavlja i s lijevom nogom.



Slika 14. Početni položaj

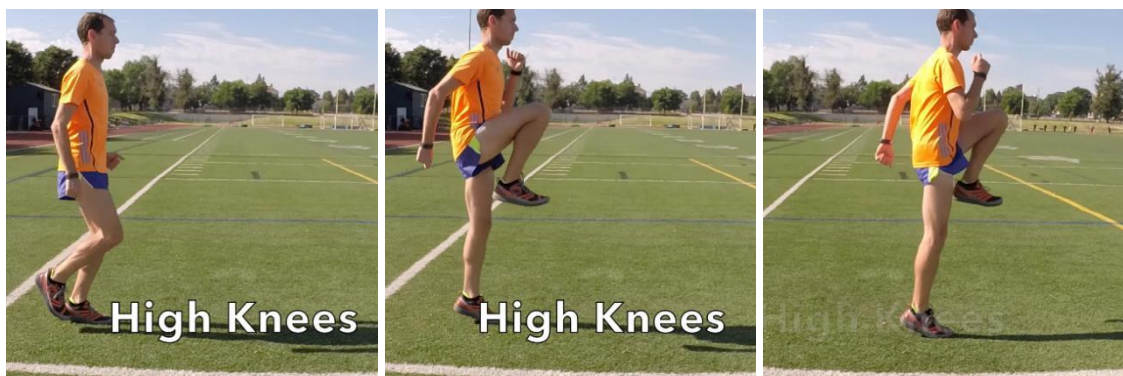
Slika 15. Desna noga

Slika 16. Lijeva noga

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=OllcZKwLH1Y&ab_channel=kenwhittier

5) Visoki skip

Osoba je u stojećem uspravnom položaju, lakat je blago savinut i stopala su u razini kukova. Pogled je usmjeren prema naprijed i gornji dio tijela bi trebao biti ispravljen. Osoba podiže lijevu nogu u visinu kuka dok je desna noga na podlozi. Potom naglo spušta lijevu nogu o tlo dok desnu podiže u visinu kukova. Nastavlja eksplozivno izmjenjivati obje strane krećući se prema naprijed. Ruke bi trebale pratiti pokrete nogu, kao i kod trčanja



Slika 18. Početni položaj

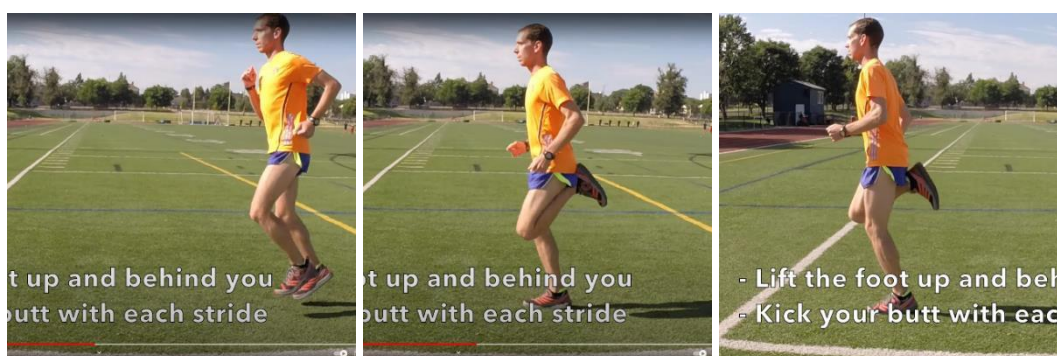
Slika 19. Desna noga

Slika 20. Lijeva noga

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=VKc58tjEVfs&ab_channel=StrengthRunning

6) Udarci o stražnjicu

Osoba je u stojećem uspravnom stavu, stopala su u razini kukova. Osoba se kreće prema naprijed i podiže stopala što je više moguće prema stražnjici sve dok pete ne dodirnu površinu gluteusa. Navedenom vježbom maksimalno istežemo tetivu kvadricepsa i ostale strukture dok u isto vrijeme aktiviramo posteriorni lanac (stražnju ložu i gluteus).



Slika 21. Početni položaj

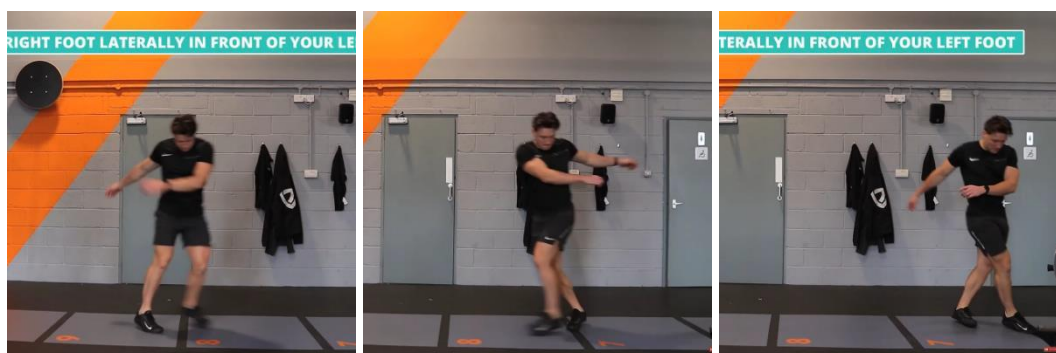
Slika 22. Lijeva noga

Slika 23. Desna noga

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=kRR1i9btd_w&ab_channel=StrengthRunning

7) Carioca

Osoba stoji bočno u smjeru u kojem će se kretati, noge su paralelne s ramenima, a gornji dio tijela drži ravnim. Križa desnu nogu ispred lijeve i prebacuje težinu na desnu nogu. Lijevu nogu pomiče u stranu dok se ne vrati u početni položaj. Isti postupak ponavlja i sa suprotnom nogom. Vježbom poboljšavamo lateralno kretanje, agilnost i rad nogu. Kao rezultat, mišići će imati bolju koordinaciju tijekom intenzivnijeg treninga.



Slika 24. Početni položaj

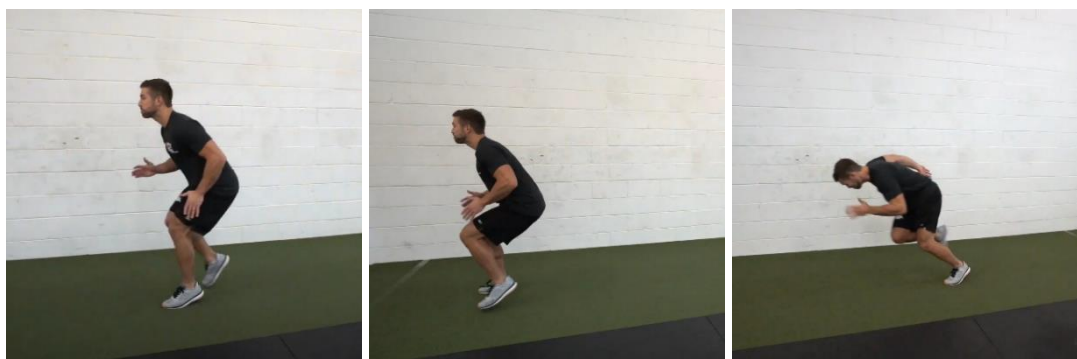
Slika 25. Pokret udesno

Slika 26. Pokret ulijevo

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=XEw2SLBPoE&ab_channel=OrigymPersonalTrainerCourses

8) Stražnje pedaliranje sa sprintom

Osoba je u stavu trkača sa savijenim koljenima i laktovima. Prebacuje težište na prste te se počinje kretati unatrag. Nakon 15m se zaustavlja, zauzima odgovarajući stav i počinje trčati prema naprijed (faza sprinta). Vježbom poboljšavamo koordinaciju, mobilnost i stabilnost.



Slika 27. Početni položaj Slika 28. Srednji položaj Slika 29. Faza sprinta

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=Q77TuY-b3n8&ab_channel=HockeyTrainingExerciseDemonstrations

9) *Skip u mjestu sa sprintom*

Osoba je u stojećem uspravnom položaju, stopala su u širini kukova. Skače prema gore koristeći lijevu nogu dok istovremeno savija desno koljeno približavajući ga torzu. Ruke zamahom prate rad nogu. Cilj je što više skočiti, ali sa kontroliranim doskokom raspoređujući težinu na cijelo stopalo. Koljeno je u fazi doskoka savijeno.



Slika 30. Početni položaj

Slika 31. Desna noga

Slika 32. Lijeva noga

Izvor:

https://www.youtube.com/watch?v=XcCwk98RFxM&ab_channel=BornToRunCoachEricOrt

8.2. Aktivacijske vježbe

Svrha aktivacijskih vježbi je aktiviranje glutealne i trbušne muskulature kako bi se promovirala ispravna tehnika izvođenja vježbi i smanjila vjerojatnost korištenja kompenzacijskih pokreta tijekom vježbi jačanja, pliometrije i vježbi agilnosti.

1) Školjka s trakom

Osoba prvo namješta elastičnu traku malo iznad razine koljena. Zauzima ležeći bočni položaj sa savijenim koljenima (otprilike 90°) i savijenim kukovima (približno 60-70°). Sa spojenim stopalima i kukovima u zajedničkoj razini, podiže gornje koljeno u smjeru abdukcije. Položaj zadržava 30s na svakoj strani.



Slika 33. Početni položaj Slika 35. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=wDJKAczVXP0&t=27s&ab_channel=

2) Vatrogasni hidrant s trakom

Osoba namješta elastičnu traku oko i malo iznad oba koljena. Počevši na rukama i nogama (četveronoške), podiže jednu nogu dijagonalno dok kukove drži paralelno s tlom. Održava leđa ravnima i čvrstu jezgru. Položaj zadržava 30s na svakoj strani.



Slika 36. Početni položaj Slika 37. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=slk-bI21_FI&ab_channel=SimpleSolutionsFitness

3) Standardni i bočni plank s trakom

Osoba namješta elastičnu traku oko i malo iznad oba koljena. Zauzima plank položaj na podlakticama. Održava trbušne i glutealne mišiće zategnutima, dok istovremeno održava napetost trake. Tijekom izvedbe bočnog planka cilj je odvojiti stopalo jedno od drugoga. Standardni plank će raditi 30s, dok će bočni plank raditi 15s svaku stranu pojedinačno.



Slika 38. Standardni plan s trakom



Slika 39. Bočni plank s trakom

Izvor: <https://docplayer.net/62941616-Sanford-knee-injury-prevention-program.html>

4) *Stojeći vatrogasni hidrant s trakom*

Osoba namješta elastičnu traku oko i malo iznad oba koljena. Nalazi se u stojećem položaju blago nagnuta prema naprijed. Oslanja se na jednu nogu s blago savijenim koljenom u stavu. Podiže suprotno nogu unatrag dijagonalno. Položaj zadržava 30s na svakoj strani.



Slika 40. Početni položaj



Slika 41. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=mt3Au-JYTo8&ab_channel=DrDavePac

8.3. Vježbe snage

Svrha vježbi snage je jačanje stabilizatora kuka i koljena. Korištenje elastične trake u vježbama je važno jer time dodatno angažiramo aktivaciju glutealne muskulature.

1) Čučanj s trakom

Osoba namješta elastičnu traku oko i malo iznad oba koljena. Polako savija koljena i kukove tako da su joj bedra paralelna s tlom, koljena gura prema van šireći traku. Kukove drži natrag, trup naprijed, a težina je na peti. Kada dođe do paralele, podigne se natrag u stojeći položaj gurajući petama od tlo i stišćući glutealnu muskulaturu. Vježbu radi 10-12 ponavljanja.



Slika 42. Početni položaj

Slika 43. Završni položaj

Slika 44. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=2uLNpDQzlxE&ab_channel=JoanLazar

2) Bočno hodanje s trakom

Osoba namješta elastičnu traku oko i malo iznad oba gležnja. Zauzima položaj polučučnja savijajući koljena. Drži kukove natrag, trup naprijed, a težina je na petama. Gura stopala prema van zatežući traku i zakoračuje postrance 20ak koraka. Isti postupak ponavlja i u suprotnom smjeru, držeći kukove i trup zategnutima.



Slika 45. Početni položaj

Slika 46. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=Tb3tBjen5o8&ab_channel=MarcusFilly

3) Iskorak prema naprijed

Osoba je u uspravnom stojećem položaju, stopala su u širini kukova. Desnom nogom napravi velik korak prema naprijed tako da peta prva dodirne tlo. Tijelo ide u pretklon sve dok desno bedro ne bude paralelno s podlogom, a desna potkoljenica okomita. Trup je cijelo vrijeme aktiviran i prati središnju liniju. Podiže se prema gore, vraća u početni položaj i isti postupak ponavlja s drugom nogom. Vježbu radi 10-12 ponavljanja svaku stranu.



Slika 47. Početni položaj Slika 48. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=r49nFlyDvTc&ab_channel=MayoClinic

4) Iskorak prema unatrag

Osoba je u uspravnom stojećem položaju s rukama na bokovima. Radi velik korak unatrag desnom nogom. Spušta kukove tako da lijevo bedro (prednja noga) postane paralelna s tlom i lijevim koljenom postavljenim izravno iznad gležnja. Savijeno desno koljeno treba biti pod kutom od 90° i okrenuto prema tlu s podignutom desnom petom. Vraća se u stojeći položaj pritiskom lijeve pete od pod i povlačenjem desne noge prema naprijed. Isti postupak ponavlja se i sa drugom nogom. Vježbu radi 10-12 ponavljanja svaku stranu.



Slika 49. Početni položaj Slika 50. Završni položaj

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=K3vgNL2OFI8&ab_channel=HeandSheEatClean

5) Iskorak u stranu

Osoba je u uspravnom stojećem položaju sa stopalima u širini kukova. Radi veliki korak u stranu lijevom nogom, a zatim savija lijevo koljeno. Gura kukove prema dolje i natrag, gurajući težinu u stranu stopala i petu, dok lijevo koljeno ne bude savijeno pod 90°. Zadržava 2s te se vraća u početni položaj. Vježbu radi 5 ponavljanja svaku stranu.



Slika 51. Početni položaj Slika 52. Iskorak ulijevo Slika 53. Iskorak udesno

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=gwWv7aPcD88&ab_channel=HybridAthlete

8.4. Pliometrijske vježbe

Pliometrijske vježbe treba izvoditi eksplozivno kako bi se poboljšala snaga, izdržljivost i brzina tijekom sportske aktivnosti. Treba se usredotočiti na pravilnu tehniku skoka/doskoka tijekom svake vježbe. Važan savjet je da se „sleti mekano“. Kako bi osigurali pravilan doskok koljena bi trebala biti u širini ramena, kukovi bi trebali biti gotovo paralelni, a trup bi trebao biti nagnut prema naprijed.

Važno je kombinirati pokrete kako bi se sportaši bolje pripremili za zahtjeve svojih sportova. Tipičan sportaš može trčati, mijenjati smjerove, skakati i bacati loptu u roku od nekoliko sekundi, stoga je potrebno uvježbavati ove kombinacije pokreta kod sportaša. Ove kombinacije ne samo da daju značajne rezultate, već čine trening ugodnijim za sportaša čime se motivacija i koncentracija drastično povećavaju.

1) Lateralni skok preko linije

Osoba je u stojećem položaju s blago savijenim koljenima. Skače uvis i bočno preko linije, doskočivši u položaj polučučnja. Pazi na mekan doskok punim stopalom. Potom isto ponavlja na drugu stranu. Vježbu radi 6-8 ponavljanja (3-4 ponavljanja po strani).



Slika 54. Početni položaj



Slika 55. Skok udesno

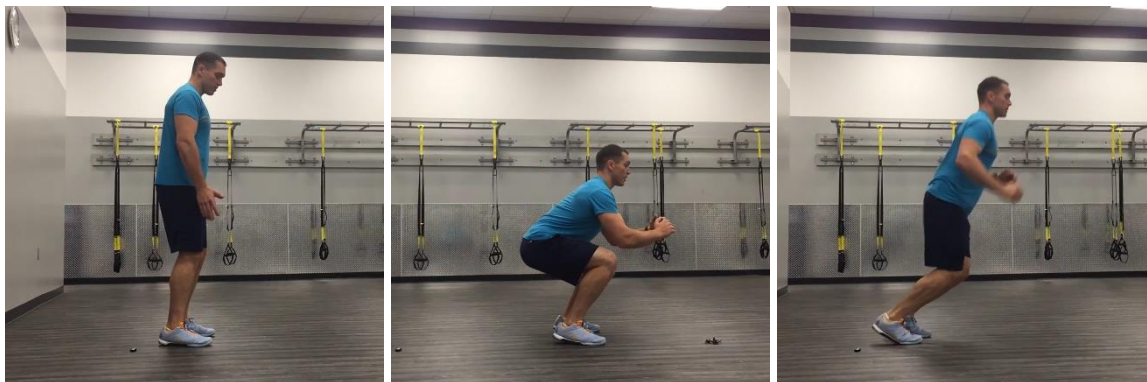


Slika 56. Skok ulijevo

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=MUPAc9YTg-8&ab_channel=EricaPulido

2) Naprijed/natrag čučanj skok

Osoba je u stojećem uspravnom položaju, stopala su u širini ramena. Skače prema naprijed u položaj čučnja, te potom prema natrag u položaj polučučnja. Vježbu radi 6-8 ponavljanja.



Slika 57. Početni položaj Slika 58. Skok prema naprijed Slika 59. Skok prema natrag

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=ZGFswQ8cWO0&ab_channel=JohnFerraro

3) Čučanj skok s 90° okretom

Osoba je u stojećem uspravnom položaju, stopala su u širini ramena. Blago savijenih koljena i laktova skače u jednu stranu okrećući se za 90° u zraku. Doskače u položaj čučnja i smjesta se skokom vraća u početni položaj. Treba pripaziti da se prilikom skokova peta ne odize od podloge i da je koljeno usmjereno prema naprijed (ne dopuštajući da propada prema unutra – valgus položaj). Vježbu radi 3 ponavljanja po svakoj strani.



Slika 60. Početni položaj Slika 61. Položaj doskoka

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=8e8fz9blqmk&ab_channel=TampaStrength

4) Iskorak sa skokom

Osoba je u donjem položaju iskoraka. Iz položaja iskoraka skače u zrak (odgurujući se kroz prednju nogu) i vraća u isti položaj. Izvodi ovaj skok četiri uzastopna puta te zatim mijenja nogu. Prilikom doskoka treba pripaziti da trup ne ide previše u otklon jer time primarno aktiviramo prednji lanac (kvadriceps) i isključimo mišiće trupa.



Slika 62. Iskorak na desnu nogu Slika 63. Iskorak na lijevu nogu

Izvor:

https://www.youtube.com/watch?v=I4mIS7p6EfU&ab_channel=St.ElizabethHealthcare

5) Čučanj skok na jednu nogu

Osoba započinje vježbu iz položaja čučnja. Kreće se prema naprijed skačući s obje noge i doskače na jednu nogu, držeći koljeno blago savijeno i s flektiranim kukom. Zadržava položaj dvije sekunde, a zatim se vraća u položaj čučnja. Vježbu izvodi 8 ponavljanja (4 ponavljanja za svaku nogu).



Slika 64. Početni položaj



Slika 65. Faza skoka



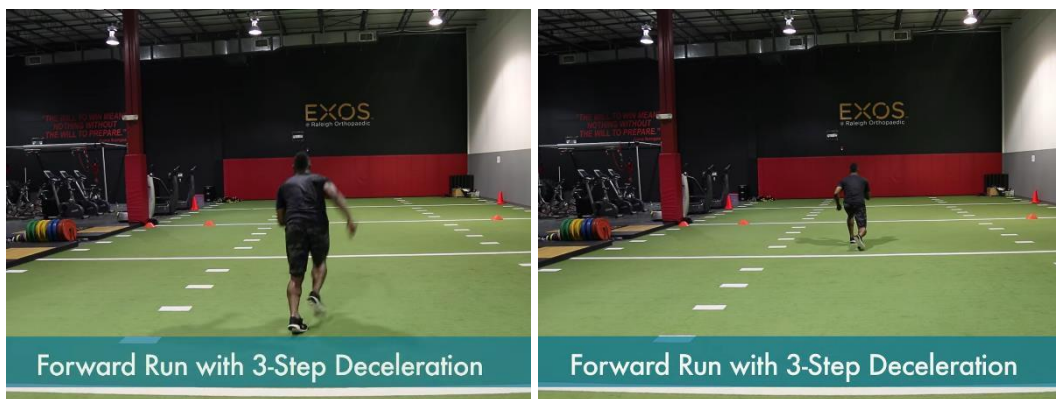
Slika 66. Faza doskoka

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=uKp_msjlcIQ&ab_channel=FunctionandStrength

8.5. Vježbe agilnosti

1) Trčanje naprijed s usporavanjem u tri koraka

Osoba je u stojećem položaju i trči prema naprijed. Nakon 5m trčanja upotrebljava pristup zaustavljanja u tri koraka (time se vježba tehnika usporavanja kroz ekscentričnu kontrakciju). Vježba se izvodi kroz 4 zaustavljanja u svakom smjeru.



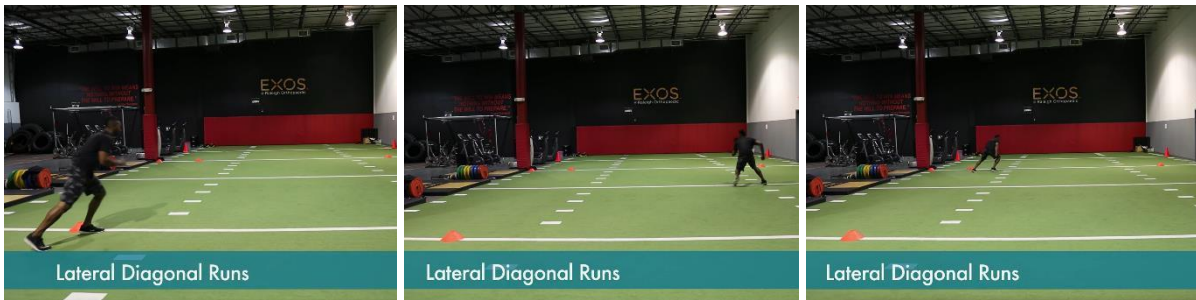
Slika 67. Početni položaj

Slika 68. Tehnika zaustavljanja

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=IbD0GQ3HeOQ&ab_channel=MatthewBoesM.D.

2) Bočne dijagonale

Osoba je u stojećem položaju i trči 5m dijagonalno (smjer lijevo-desno). Koristi tehniku usporavanja od 3 koraka. Identična tehnika kao u prethodnoj vježbi samo što se ovdje pokret odvija u frontalnoj ravnini i imamo lateralno kretanje (angažirana je različita muskulatura).



Slika 69. Početni položaj

Slika 70. Kretanje ulijevo

Slika 71. Kretanje udesno

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=IbD0GQ3HeOO&ab_channel=MatthewBoesM.D.

3) Izmjena u 3 koraka

Početni položaj je polučučanj sa širim stavom. Osobe se lateralno kreće 3 koraka u jednu stranu, mijenja smjer i isti postupak radi suprotno. Cijelo izvođenje stoji u položaju polučučnja sa skupljenim rukama.



Slika 72. Početni položaj

Slika 73. Kretanje ulijevo

Slika 74. Kretanje udesno

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=hUuFmM-DckY&ab_channel=OutrightFitnessandPerformance

8.6. Motorička kontrola

Vježbe motoričke kontrole pokreta i propriocepcije koriste se kao dio programa jačanja i rehabilitacije koljena. Poboljšavaju propriocepciju, ravnotežu i koordinaciju. Proprioceptivni trening je neizostavna komponenta u kondicijskoj pripremi sportaša. Vježbe koje su nekada bile isključivo korištene u rehabilitacijskom procesu, danas postaju neizostavan dio preventivnog programa. Cilj proprioceptivnog treninga je provokacija proprioceptora na optimalnu reakciju u situacijama koje su klasificirane kao visoko rizične za nastanak ozljede. Takvim načinom treninga direktno se utječe na povećanje opsega pokreta u zglobovima i jačanje mišića zgloba koljena kako bi bili što čvršći.

Navedene vježbe su namijenjene naprednom sportašu i uključuju širi kinetički lanac kao neizostavnu komponentu u prevenciji ozljeda, također se koriste rekviziti i nestabilna podloga kako bismo što više otežali izvedbu vježbi.

1) Jednonožno rumunjsko mrtvo dizanje s rotacijom

Osoba je u stojećem uspravnom položaju, stav je u širini kukova. Medicinka se nalazi ispred torza i obuhvaćena je objema rukama. Osoba odize jednu nogu od tla i radi pretklon tijela, dok drugu nogu ispruži u smjeru ekstenzije kuka. Prilikom podizanja odize suprotnu nogu do 90° fleksije u kuku, te podiže medicinku u razini pogleda. Vježbu radi 2-3 ponavljanja.



Slika 75. Prikaz izvođenja vježbe

Izvor: https://www.youtube.com/shorts/ImC_0MB4oDQ

2) Varijacije s bosu loptom

Varijacije vježbi snage na bosu lopti (objašnjenja izvođenja vježbi su prethodno opisana). Bosu lopta predstavlja izazov u izvođenju vježbi jer se radi o nestabilnoj podlozi na kojoj možemo vježbati statičku i dinamičku stabilnost.



Slika 76. Čučanj



Slika 77. Bočni čučanj



Slika 78. Prednji iskorak

Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=XlwtdGjmD2g&ab_channel=BOSU

3) *Most na pilates lopti*

Osoba je u ležećem položaju s licem okrenutim prema gore, savija koljena i postavlja stopala na pilates loptu. Držeći loptu mirno, odguruje se petom i podiže kukove u zrak kontrahirajući glutealnu muskulaturu. Oslonac predstavlja površina leđa na kojoj je oslonjen i ruke s kojima se pridržava. Vježbu izvodi 4-6 ponavlja.



Slika 79. Standardna izvedba

Slika 80. & Slika 81. Progresija izvođenja vježbe

Izvor: <https://www.youtube.com/shorts/ULcnXjW7omU>

4) *Iskorak u pretklonu*

Varijanta iskoraka u pretklonu i jednonožnog rumunjskog mrtvog dizanja. Vježba koja ukomponira elemente: stabilnosti, mobilnosti i snage koristeći širi kinetički lanac. Cilj vježbe je osnažiti muskulaturu i strukture koje se nalaze u zglobu koljena simulirajući različite pokrete i opterećujući koljeno pod različitim uglom.



Slika 82. (1) Iskorak



Slika 83. (2) Pretklon + Jednonožni rumunjski izdržaj



Izvor: <https://www.sportsinjuryclinic.net/sport-injuries/knee-pain/movement-control-exercises>

9. ZAKLJUČAK

Rukomet je tehnički i taktički vrlo složen profesionalni sport. Rukomet karakteriziraju različiti skokovi i promjene smjera kretanja. Ne samo zbog čestog fizičkog kontakta s protivnikom, već i zbog vrlo dinamičnog stila igre, rukometaši su izloženi enormno visokom riziku od ozljeda. Najčešće je zahvaćen zglob koljena (ozljeda ACL-a) i značajno je povećan rizik od ponovnog ozljeđivanja koljena. Time se uviđa važnost specifičnog trenažnog procesa s ciljem prevencije ozljeda. Razvijaju se specifični programi treninga za prevenciju ozljeda koji poboljšavaju biomehaniku i neuromuskularnu kontrolu kako bi se zaštitio zglob koljena od prekomjernog opterećenja i koji predstavljaju najbolji način za smanjenje rizika od ozljede ACL-a i drugih traumatskih ozljeda koljena. Posljednjih je godina došlo do rapidnog porasta znanja o načinima optimizacije preventivnog programa u smislu odabira vježbi, volumena i intenziteta treninga; međutim, u ovom trenutku možemo dati samo općenite preporuke vezane uz dizajn ili izbor učinkovitog preventivnog programa treninga (zbog nedostatka relevantne literature koja se odnosi isključivo za rukomet i prevenciju ozljede ACL-a). U ovom radu je predstavljen višekomponentni program preventivnog treninga koji uključuje (povratne informacije o tehnici i kvaliteti kretanja u kombinaciji s vježbama iz sljedećih kategorija: snaga, fleksibilnost, mobilnost, pliometrija, agilnost i propriocepcija). Detaljno je opisana: izvedba svake pojedine vježbe, preporučeni intenzitet i volumen treninga. Također je znanstveno potkrijepljena svaka pojedina kategorija treninga. Smatra se da su programi koji integriraju navedene komponente zajedno s neuromuskularnim treningom najučinkovitiji. Većina istraživanja dijele mišljenje o provedbi programa u trajanju od 15-30 min nekoliko puta tjedno, ovisno o rasporedu. Provedba navedenog preventivskog programa može znatno smanjiti stopu ozljede ACL-a (uz uvjet da se uzmu u obzir specifične karakteristike sportaša i da se program prilagodi individualno sportašu sukladno navedenim čimbenicima). Kako bi se smanjio rizik od ozljeda ACL-a, posebno kod rizičnijih populacija, preventivni programi treninga trebaju biti implementirani kao dio sportaševog predsezonskog i sezonskog treninga. Provedba ovih programa u ranoj dobi (tj. prije dobi u kojoj stope ozljeda rastu) i nastavak tih napora tijekom natjecateljskih godina pojedinca može biti osobito koristan ako želimo optimizirati principe motoričkog učenja i osigurati zadržavanje poboljšane neuromuskularne kontrole kako bi se smanjio rizik od ozljeda. Uspješnost programa ovisit će o angažiranosti i motivaciji sportaša, također i o kompetencijama i znanju osobe koja provodi preventivski program.

PRILOZI

Popis kratica korištenih u tekstu

ACL (eng. anterior cruciate ligament) – prednji križni ligament

PCL (eng. posterior cruciate ligament) – stražnji križni ligament

MCL (eng. medial collateral ligament) – medijalni kolateralni ligament

LCL (eng. lateral collateral ligament) – lateralni kolateralni ligament

LITERATURA

1. Arendt, E., & Dick, R. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *The American journal of sports medicine*, 23(6), 694–701.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/036354659502300611>

2. Myklebust, G., Holm, I., Maehlum, S., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2003). Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. *The American journal of sports medicine*, 31(6), 981–989.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/03635465030310063901>

3. Myklebust, G., Maehlum, S., Holm, I., & Bahr, R. (1998). A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 8(3), 149–153.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1998.tb00185.x>

4. Pieper H-G, Muschol M (2007). Sportverletzungen und Überlastungsschäden im Handballsport. *SportsOrthopTraumatol* 23: 4–10.

5. Achenbach, L., & Luig, P. (2020). Epidemiologie und Verletzungsprävention im Handball [Epidemiology and injury prevention in handball]. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*, 34(3), 129–135.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1055/a-1209-4666>

6. Forsythe, B., Kopf, S., Wong, A. K., Martins, C. A., Anderst, W., Tashman, S., & Fu, F. H. (2010). The location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 92(6), 1418–1426.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00654>

7. Chhabra, A., Starman, J. S., Ferretti, M., Vidal, A. F., Zantop, T., & Fu, F. H. (2006). Anatomic, radiographic, biomechanical, and kinematic evaluation of the anterior cruciate ligament and its two functional bundles. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 88 Suppl 4, 2–10.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00616>

8. Lopes, O. V., Jr, Ferretti, M., Shen, W., Ekdahl, M., Smolinski, P., & Fu, F. H. (2008). Topography of the femoral attachment of the posterior cruciate ligament. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 90(2), 249–255.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.G.00448>

9. Harner, C. D., Xerogeanes, J. W., Livesay, G. A., Carlin, G. J., Smith, B. A., Kusayama, T., Kashiwaguchi, S., & Woo, S. L. (1995). The human posterior cruciate ligament complex: an interdisciplinary study. Ligament morphology and biomechanical evaluation. *The American journal of sports medicine*, 23(6), 736–745.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/036354659502300617>

10. LaPrade, R. F., Moulton, S. G., Nitri, M., Mueller, W., & Engebretsen, L. (2015). Clinically relevant anatomy and what anatomic reconstruction means. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 23(10), 2950–2959.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3629-1>

11. LaPrade, R. F., Engebretsen, A. H., Ly, T. V., Johansen, S., Wentorf, F. A., & Engebretsen, L. (2007). The anatomy of the medial part of the knee. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 89(9), 2000–2010.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.01176>

12. Juneja, P., & Hubbard, J. B. (2022). *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee Medial Collateral Ligament*. In StatPearls. StatPearls Publishing.

Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507780/>

13. James, E. W., LaPrade, C. M., & LaPrade, R. F. (2015). Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee and surgical implications. *Sports medicine and arthroscopy review*, 23(1), 2–9.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000040>

14. Wilson, W. T., Deakin, A. H., Payne, A. P., Picard, F., & Wearing, S. C. (2012). Comparative analysis of the structural properties of the collateral ligaments of the human knee. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 42(4), 345–351.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3919>

15. Saavedra, M. Á., Navarro-Zarza, J. E., Villaseñor-Ovies, P., Canoso, J. J., Vargas, A., Chiapas-Gasca, K., Hernández-Díaz, C., & Kalish, R. A. (2012). Clinical anatomy of the knee. *Reumatologia clinica*, 8 Suppl 2, 39–45.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2012.10.002>

16. Huber, M., Trattinig, S., & Lintner, F. (2000). Anatomy, biochemistry, and physiology of articular cartilage. *Investigative radiology*, 35(10), 573–580.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/00004424-200010000-00003>

17. Gupton, M., Imonugo, O., & Terreberry, R. R. (2022). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Knee. In StatPearls. StatPearls Publishing.

18. Thompson, J. C., Netter, F. H., G., M. C. A., & Craig, J. A. (2016). Netter's concise orthopaedic anatomy. Saunders Elsevier.

19. Hassebrock, J. D., Gulbrandsen, M. T., Asprey, W. L., Makovicka, J. L., & Chhabra, A. (2020). Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports medicine and arthroscopy review*, 28(3), 80–86.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000279>

20. Gee, S. M., & Posner, M. (2021). Meniscus Anatomy and Basic Science. *Sports medicine and arthroscopy review*, 29(3), e18–e23.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000327>

21. Mameri, E. S., Dasari, S. P., Fortier, L. M., Verdejo, F. G., Gursoy, S., Yanke, A. B., & Chahla, J. (2022). Review of Meniscus Anatomy and Biomechanics. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 15(5), 323–335.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s12178-022-09768-1>

22. Flandry, F., & Hommel, G. (2011). Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports medicine and arthroscopy review*, 19(2), 82–92.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e318210c0aa>

23. Pagnano, M. W., Meneghini, R. M., & Trousdale, R. T. (2006). Anatomy of the extensor mechanism in reference to quadriceps-sparing TKA. *Clinical orthopaedics and related research*, 452, 102–105.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000238788.44349.0f>

24. Waligora, A. C., Johanson, N. A., & Hirsch, B. E. (2009). Clinical anatomy of the quadriceps femoris and extensor apparatus of the knee. *Clinical orthopaedics and related research*, 467(12), 3297–3306.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1052-y>

25. Azzopardi, C., Almeer, G., Kho, J., Beale, D., James, S. L., & Botchu, R. (2020). Hamstring origin-anatomy, angle of origin and its possible clinical implications. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*, 13, 50–52.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.08.021>

26. Pinskerova, V., Samuelson, K. M., Stammers, J., Maruthainar, K., Sosna, A., & Freeman, M. A. (2009). The knee in full flexion: an anatomical study. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 91(6), 830–834.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.91B6.22319>

27. Jorge, P. B., Silva, M. O. E., Horita, M. M., Resende, V. R., Guglielmetti, L. G. B., & Oliveira, D. E. (2021). Anatomical Study of the Medial Region of the Knee: Qualitative, Quantitative Analysis and Description of the Anterior Oblique Ligament. *Revista brasileira de ortopedia*, 57(4), 682–688.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731419>

28. Hirschmann, M. T., & Müller, W. (2015). Complex function of the knee joint: the current understanding of the knee. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 23(10), 2780–2788.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3619-3>

29. Pinskerova, V., & Vavrik, P. (2020). Knee Anatomy and Biomechanics and its Relevance to Knee Replacement. In C. Rivière (Eds.) et. al., *Personalized Hip and Knee Joint Replacement*. (pp. 159–168). Springer.

30. Bull, A. M., & Amis, A. A. (1998). Knee joint motion: description and measurement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of engineering in medicine*, 212(5), 357–372.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1243/0954411981534132>

31. Smith, P. N., Refshauge, K. M., & Scarvell, J. M. (2003). Development of the concepts of knee kinematics. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(12), 1895–1902.
Dostupno na: [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(03\)00281-8](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00281-8)
32. Logterman, S. L., Wydra, F. B., & Frank, R. M. (2018). Posterior Cruciate Ligament: Anatomy and Biomechanics. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 11(3), 510–514.
Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9492-1>
33. Loudon J. K. (2016). Biomechanics And Pathomechanics Of The Patellofemoral Joint. *International journal of sports physical therapy*, 11(6), 820–830.
34. Kelly A. K. (2008). Anterior cruciate ligament injury prevention. *Current sports medicine reports*, 7(5), 255–262.
Dostupno na: <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e318186c3f5>
35. Padua, D. A., DiStefano, L. J., Hewett, T. E., ... (2018). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injury. *Journal of athletic training*, 53(1), 5–19.
Dostupno na: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-99-16>
36. Peterson, J. R., & Krabak, B. J. (2014). Anterior cruciate ligament injury: mechanisms of injury and strategies for injury prevention. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 25(4), 813–828.
Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.06.010>
37. Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *The American journal of sports medicine*, 32(4), 1002–1012.
Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546503261724>
38. Griffin, L. Y., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Bahr, R., ... (2006). Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: a review of the Hunt Valley II meeting, January 2005. *The American journal of sports medicine*, 34(9), 1512–1532. Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546506286866>

39. Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *The American journal of sports medicine*, 34(2), 299–311.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546505284183>

40. Parsons, J. L., Coen, S. E., (2021). Anterior cruciate ligament injury: towards a gendered environmental approach. *British journal of sports medicine*, 55(17), 984–990.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103173>

41. Renstrom, P., Ljungqvist, A., Arendt, E., ... (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *British journal of sports medicine*, 42(6), 394–412.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.048934>

42. Sugimoto, D., Myer, G. D., Micheli, L. J., & Hewett, T. E. (2015). ABCs of Evidence-based Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Strategies in Female Athletes. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, 3(1), 43–49.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s40141-014-0076-8>

43. Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL Injury Prevention: What Does Research Tell Us?. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 10(3), 281–288.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9416-5>

44. Mandelbaum, B. R., Silvers, H. J., ... (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up. *The American journal of sports medicine*, 33(7), 1003–1010.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546504272261>

45. Hewett, T. E., & Myer, G. D. (2011). The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exercise and sport sciences reviews*, 39(4), 161–166.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182297439>

46. Sadoghi, P., von Keudell, A., & Vavken, P. (2012). Effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention training programs. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 94(9), 769–776.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00467>

47. Gilchrist, J., Mandelbaum, B. R., Melancon, H., Ryan, G. W., Silvers, H. J., Griffin, L. Y., Watanabe, D. S., Dick, R. W., & Dvorak, J. (2008). A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *The American journal of sports medicine*, 36(8), 1476–1483.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546508318188>

48. Sugimoto, D., Myer, G. D., Foss, K. D., & Hewett, T. E. (2014). Dosage effects of neuromuscular training intervention to reduce anterior cruciate ligament injuries in female athletes: meta- and sub-group analyses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(4), 551–562.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0135-9>

49. Pfeiffer, R. P., Shea, K. G., Roberts, D., Grandstrand, S., & Bond, L. (2006). Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact anterior cruciate ligament injury. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 88(8), 1769–1774.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00616>

50. Wilk, K. E., Macrina, L. C., Cain, E. L., Dugas, J. R., & Andrews, J. R. (2012). Recent advances in the rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 42(3), 153–171.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3741>

51. Marshall, S. W., Padua, D. A., McGrath, M. L. (2007). Incidence of ACL injury. *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2007:5–29.

52. Herrington L. (2010). The effects of 4 weeks of jump training on landing knee valgus and crossover hop performance in female basketball players. *Journal of strength and conditioning research*, 24(12), 3427–3432.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c1fcd8>

53. Chappell, J. D., & Limpisvasti, O. (2008). Effect of a neuromuscular training program on the kinetics and kinematics of jumping tasks. *The American journal of sports medicine*, 36(6), 1081–1086.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546508314425>

54. Lephart, S. M., Abt, J. P., Ferris, ... (2005). Neuromuscular and biomechanical characteristic changes in high school athletes: a plyometric versus basic resistance program. *British journal of sports medicine*, 39(12), 932–938.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.019083>

55. Grindstaff, T. L., Hammill, R. R., Tuzson, A. E., & Hertel, J. (2006). Neuromuscular control training programs and noncontact anterior cruciate ligament injury rates in female athletes: a numbers-needed-to-treat analysis. *Journal of athletic training*, 41(4), 450–456.

56. Sadoghi, P., von Keudell, A., & Vavken, P. (2012). Effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention training programs. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 94(9), 769–776. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00467>

57. Myklebust, G., Skjøllberg, A., & Bahr, R. (2013). ACL injury incidence in female handball 10 years after the Norwegian ACL prevention study: important lessons learned. *British journal of sports medicine*, 47(8), 476–479.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091862>

58. DiStefano, L. J., Marshall, S. W., Padua, ... (2016). The Effects of an Injury Prevention Program on Landing Biomechanics Over Time. *The American journal of sports medicine*, 44(3), 767–776.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546515621270>

59. LaBella, C. R., Huxford, M. R., ... (2011). Effect of Neuromuscular Warm-up on Injuries in Female Soccer and Basketball Athletes in Urban Public High Schools: Cluster Randomized Controlled Trial. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2011;165(11):1033–1040.

60. DiStefano, L. J., Blackburn, J. T., Marshall, S. W., Guskiewicz, K. M., Garrett, W. E., & Padua, D. A. (2011). Effects of an age-specific anterior cruciate ligament injury prevention program on lower extremity biomechanics in children. *The American journal of sports medicine*, 39(5), 949–957.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546510392015>

61. Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2007). Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC musculoskeletal disorders*, 8, 39.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1186/1471-2474-8-39>

62. Steffen, K., Emery, C. A., Romiti, M., Kang, J., Bizzini, M., Dvorak, J., Finch, C. F., & Meeuwisse, W. H. (2013). High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: a cluster randomised trial. *British journal of sports medicine*, 47(12), 794–802.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091886>

63. Gagnier, J. J., Morgenstern, H., & Chess, L. (2013). Interventions designed to prevent anterior cruciate ligament injuries in adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, 41(8), 1952–1962.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546512458227>

64. Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R., & Andersen, T. E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ (Clinical research ed.)*, 337, a2469.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1136/bmj.a2469>

65. Yoo, J. H., Lim, B. O., Ha, M., Lee, S. W., Oh, S. J., Lee, Y. S., & Kim, J. G. (2010). A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 18(6), 824–830.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0901-2>

66. Padua, D. A., Frank, B., Donaldson, A., de la Motte, S., Cameron, K. L., Beutler, A. I., DiStefano, L. J., & Marshall, S. W. (2014). Seven steps for developing and implementing a preventive training program: lessons learned from JUMP-ACL and beyond. *Clinics in sports medicine*, 33(4), 615–632.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.csm.2014.06.012>

67. DiFiori, J. P., Benjamin, H. J., Brenner, J., Gregory, A., Jayanthi, N., Landry, G. L., & Luke, A. (2014). Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 24(1), 3–20.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000060>

68. Morgan, P. J., Barnett, L. M., Cliff, D. P., Okely, A. D., Scott, H. A., Cohen, K. E., & Lubans, D. R. (2013). Fundamental movement skill interventions in youth: a systematic review and meta-analysis. *Pediatrics*, 132(5), e1361–e1383.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1542/peds.2013-1167>

69. Myer, G. D., Sugimoto, D., Thomas, S., & Hewett, T. E. (2013). The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, 41(1), 203–215. Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/0363546512460637>

70. Lubans, D. R., Morgan, P. J., Cliff, D. P., Barnett, L. M., & Okely, A. D. (2010). Fundamental movement skills in children and adolescents: review of associated health benefits. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(12), 1019–1035.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2165/11536850-000000000-00000>

71. Emanuel, M., Jarus, T., & Bart, O. (2008). Effect of focus of attention and age on motor acquisition, retention, and transfer: a randomized trial. *Physical therapy*, 88(2), 251–260. Dostupno na: <https://doi.org/10.2522/ptj.20060174>

72. Petersen, W., Braun, C., Bock, W., Schmidt, K., Weimann, A., Drescher, W., Eiling, E., Stange, R., Fuchs, T., Hedderich, J., & Zantop, T. (2005). A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 125(9), 614–621.

Dostupno na: <https://doi.org/10.1007/s00402-005-0793-7>

73. Zmijewski, P., Lipinska, P., Czajkowska, A., (2020). Acute Effects of a Static Vs. a Dynamic Stretching Warm-up on Repeated-Sprint Performance in Female Handball Players. *Journal of human kinetics*, 72, 161–172.

Dostupno na: <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0043>