



ASIMETRIJE KINEMATIČKIH PARAMETARA PROMJENE SMJERA KOD RUKOMETASA I KOŠARKAŠA KADETSKOG UZRASTA KAO ČIMBENIK RIZIKA ZA OZLJEDE

KINEMATIC PARAMETER ASYMMETRIES OF CHANGE OF DIRECTION IN CADET HANDBALL AND BASKETBALL PLAYERS AS A RISK FACTOR FOR INJURIES

Mateja Očić

Sveučilište u Zagrebu Kineziološki fakultet, Zagreb, Hrvatska

Cite as: Očić M. Asimetrije kinematičkih parametara promjene smjera kod rukometaša i košarkaša kadetskog uzrasta kao čimbenik rizika za ozljede. Croat Sports Med J. 2025; 40(2):200-6.

Corresponding author: Očić Mateja, mateja.ocic@kif.unizg.hr

DOI: 10.69589/hsv.40.2.11

SAŽETAK

Promjena smjera jedna je od ključnih sposobnosti u sportovima poput rukometa i košarke, a njezini biomehanički obrasci povezani su s uspješnošću izvedbe i rizikom od ozljeda donjih ekstremiteta. Pritom važnu ulogu ima funkcionalna asimetrija koje može narušiti učinkovitost kretanja i povećati opterećenje na zglobne strukture.

Cilj istraživanja bio je analizirati i usporediti kinematičke parametre promjene smjera u testu okretne agilnosti kod kadetskih rukometaša i košarkaša na razini nacionalnih selekcija, s naglaskom na kvantifikaciju asimetrija donjih ekstremiteta.

U istraživanju je sudjelovalo 16 ispitanika nacionalnih kadetskih selekcija (rukomet: $n = 8$; košarka: $n = 8$). Procjena sposobnosti promjene smjera provedena je testom agilnosti 20 jardi, uz snimanje inercijskim kinematičkim sustavom Xsens MVN BIOMECH Awinda. Analizirane varijable uključivale su dužinu koraka i minimalnu te maksimalnu poziciju centra težišta tijela pri promjeni smjera. Za kvantifikaciju asimetrije korišten je indeks asimetrije za svaku promatranu varijablu.

Hotellingovim T^2 testom nisu utvrđene značajne razlike između rukometaša i košarkaša u promatranim varijablama ($p = 0,82$). Analiza pojedinačnih indeksa asimetrije također nije pokazala statistički značajne razlike ($p > 0,05$). Međutim, kod pojedinih ispitanika zabilježene su vrijednosti indeksa asimetrije koje prelaze 15%, što se u literaturi povezuje s povećanim rizikom od ozljeda.

Ovi nalazi naglašavaju važnost biomehaničkog praćenja promjene smjera u svrhu rane identifikacije sportaša s potencijalno povećanim rizikom od ozljeda te implementacije ciljano usmjerenih preventivnih

ABSTRACT

Change of direction is one of the key abilities in sports such as handball and basketball, and its biomechanical patterns are associated with performance success and the risk of lower-limb injuries. An important role in this context is played by inter-limb (functional) asymmetry, which may reduce movement efficiency and increase the load on joint structures.

The aim of this study was to analyze and compare the kinematic parameters of change of direction in national-level cadet handball and basketball players, with a focus on quantifying inter-limb asymmetries of the lower extremities.

The study included 16 male athletes from national cadet teams (handball: $n = 8$; basketball: $n = 8$). The change of direction ability was assessed using the 20-yard agility test, recorded with the Xsens MVN BIOMECH Awinda inertial motion capture system. The analyzed variables included step length and the minimum and maximum position of the center of mass during the change of direction. An asymmetry index was calculated for each variable.

Hotelling's T^2 test revealed no significant differences between handball and basketball players in the observed variables ($p = 0.82$). Individual analysis of asymmetry indices also showed no statistically significant differences ($p > 0.05$). However, some athletes exhibited asymmetry index values exceeding 15%, which are associated in the literature with an increased risk of injury.

These findings emphasize the importance of biomechanical monitoring of change of direction performance for early identification of athletes with a potentially increased risk of injury and the implementation of targeted preventive programs, including specific

programa, uključujući specifične unilateralne vježbe snage i stabilizacije, čime se može dugoročno očuvati funkcionalna ravnoteža i smanjiti rizik od ozljeda donjih ekstremiteta.

Ključne riječi: agilnost, biomehanika, funkcionalna asimetrija, prevencija ozljeda, sportaši kadetskog uzrasta

unilateral strength and stabilization exercises, which can help maintain functional balance and reduce the risk of lower limb injuries in the long term.

Keywords: change of direction, biomechanics, inter-limb asymmetry, injury prevention, cadet athletes

UVOD

Agilnost i sposobnost brze promjene smjera (engl. *change of direction*, COD) predstavljaju ključne motoričke sposobnosti u sportskim igrama poput košarke i rukometa, u kojima su igrači kontinuirano izloženi visokim zahtjevima brzog kretanja u različitim smjerovima, često pod pritiskom protivnika i u uvjetima smanjene stabilnosti¹⁷. COD testovi standardno se koriste za objektivnu procjenu agilnosti jer omogućuju uvid u biomehaničke zahtjeve izvedbe koji su bliski onima u stvarnoj igri⁶.

Biomehanička analiza COD-a ističe važnost kontrole centra težišta tijela, dužine koraka i koordinacije donjih ekstremiteta u ostvarivanju učinkovite i sigurne izvedbe^{5,14}. Neprimjerena kontrola centra težišta tijela i izražene oscilacije tijela tijekom promjene smjera mogu povećati mehaničko opterećenje na koljeno i gležanj, što je povezano s rizikom od ne-kontaktne ozljede, posebice prednjeg križnog ligamenta⁹. Upravo su kinematički parametri poput pozicije centra težišta tijela i dužine koraka istaknuti kao glavni biomehanički čimbenici koji diferenciraju uspješnije od manje uspješnih izvedbi promjene smjera¹⁴.

U suvremenim istraživanjima biomehanike sporta sve se više ističe važnost analize potencijalnih asimetrija donjih ekstremiteta. Iako određena razina asimetrije može biti posljedica lateralne dominacije ili specifičnih zahtjeva sporta, izraženije asimetrije (najčešće iznad 10–15%) povezuju se s povećanim rizikom od ozljeda i smanjenom izvedbom^{4,10}. Dosadašnja istraživanja pokazuju da funkcionalne asimetrije pokazuju dosljedan, ali najčešće umjeren utjecaj na COD izvedbu, sprint i skokove, pri čemu njihova manifestacija značajno ovisi o vrsti testa i populaciji sportaša^{7,10}. Kod košarkaša je dokazano da se asimetrije u snazi, eksplozivnosti i trupu odražavaju na brzinu i učinkovitost promjene smjera^{13,19,20}, dok kod rukometaša istraživanja pokazuju povezanost između brzine, agilnosti i asimetrija u različitim dobnim skupinama^{2,8}. Također, komparativne studije ukazuju da obrasci asimetrije mogu varirati između sportova poput rukometa i košarke, ali i među pojedincima unutar iste grupe^{1,2}.

Specifičnosti pojedinih sportova dodatno oblikuju biomehaničke zahtjeve promjene smjera. U košarci, koja se odlikuje brzim prijelazima, većim rasponom kretanja i čestim jednonožnim odrazima, mogu se očekivati veće oscilacije centra mase i izraženija lateralna dominacija¹⁴. S druge strane, rukomet karakteriziraju učestali tjelesni

kontakti, kraće dionice kretanja i česte promjene smjera u ograničenom prostoru, što može rezultirati ravnomjernijom raspodjelom opterećenja između ekstremiteta^{8,15}. Osim toga, napadački i obrambeni obrasci u košarci i rukometu uključuju različite kutove i smjerove kretanja, što dodatno doprinosi varijabilnosti biomehaničkih zahtjeva. Slične razlike mogu se primijetiti i između pojedinih igračkih pozicija, ovisno o specifičnim motoričkim zadacima i tipu kretanja.

Dosadašnja istraživanja iz područja biomehaničkih obrazaca promjene smjera uglavnom se odnose na seniorske sportaše, dok je kadetski uzrast i usporedba rukometa i košarke na razini nacionalnih selekcija manje zastupljena. Pritom je korisno analizirati kinematičke varijable centra težišta tijela i dužine koraka u kontekstu funkcionalne asimetrije donjih ekstremiteta te njihove moguće povezanosti s ozljedama. Stoga je cilj ovog istraživanja analizirati i usporediti kinematičke parametre promjene smjera kod rukometaša i košarkaša nacionalnih kadetskih selekcija, s naglaskom na kvantifikaciju asimetrija donjih ekstremiteta i njihovu potencijalnu ulogu u prevenciji ozljeda.

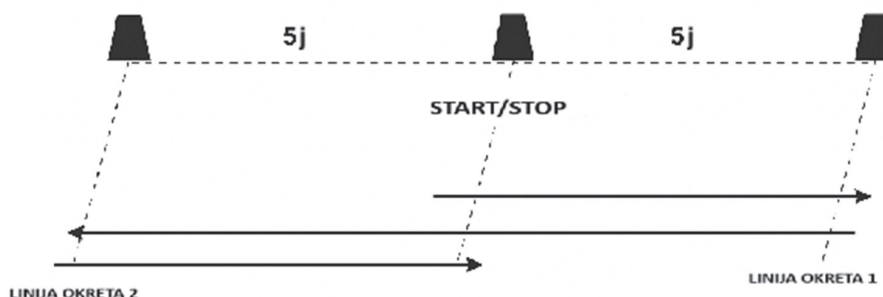
METODE

Uzorak ispitanika

U istraživanju je sudjelovalo 16 ispitanika muškog spola, članova nacionalnih kadetskih selekcija u rukometu ($n = 8$) i košarci ($n = 8$). Prosječna dob, visina i tjelesna masa iznosile su $15,6 \pm 0,6$ godina, $187,1 \pm 7,2$ cm i $83,7 \pm 10,8$ kg za rukometaše te $15,5 \pm 0,6$ godina, $197,8 \pm 6,2$ cm i $86,9 \pm 10,5$ kg za košarkaše. Svi ispitanici bili su upoznati s ciljem istraživanja te mogućim koristima i rizicima povezanim s testiranjem. Zbog maloljetnosti, roditelji ili skrbnici dali su pisanu suglasnost za sudjelovanje. Istraživanje je provedeno u skladu s Helsinškom deklaracijom te je odobreno od strane Etičkog povjerenstva Sveučilišta u Zagrebu Kineziološkog fakulteta.

Protokol istraživanja

Za procjenu sposobnosti promjene smjera korišten je test agilnosti 20 jardi (slika 1), koji se u literaturi često primjenjuje za procjenu COD sposobnosti u sportovima



Slika 1. Test agilnosti 20 jardi (preuzeto iz rada Los Arcos i sur., 2017)¹¹
 Figure 1. The 20-yard agility test (adapted from Los Arcos et al., 2017)¹¹

koje karakteriziraju učestale promjene smjera¹¹. Ispitanici su test započeli na središnjoj liniji, pored fotočelija koje su označavale početak mjerenja vremena. Na udaljenosti od 5 jardi lijevo i desno od središnje linije bile su postavljene oznake. Nakon startnog signala ispitanici su sprintali maksimalnom brzinom prema desnoj oznaci, izveli okret od 180°, zatim sprintali prema lijevoj oznaci, ponovno izveli okret od 180°, te završili prolaskom kroz fotočelije na središnjoj liniji.

Tijekom testiranja izvođenje je snimano pomoću inercijskog kinematičkog sustava Xsens MVN BIOMECH Awinda (Xsens Technologies B.V., Enschede, Nizozemska). Sustav se sastoji od 17 bežičnih inercijskih senzora, postavljenih na cijelo tijelo pomoću odijela, s frekvencijom uzorkovanja od 60 Hz. Kalibracija sustava provedena je sukladno uputama proizvođača, a podaci su obrađeni u softveru MVN Studio BIOMECH (Xsens Technologies B.V.). Pouzdanost i valjanost Xsens sustava u mjerenju kinematičkih parametara potvrđena je u ranijim srodnim istraživanjima^{16,18}.

Prikupljeni kinematički parametri donjih ekstremiteta bili su:

- dužina koraka u trenutku promjene smjera kretanja desnom i lijevom nogom (20YlenD, 20YlenL),
- minimalna točka centra težišta tijela po vertikalnoj osi tijekom promjene smjera desnom i lijevom nogom (20Y_OCTTminD, 20Y_OCTTminL),
- maksimalna točka centra težišta tijela po vertikalnoj osi nakon promjene smjera desnom i lijevom nogom (20Y_OCTTmaxD, 20Y_OCTTmaxL).

Sve vrijednosti izražene su u centimetrima (cm).

Odabrane kinematičke varijable predstavljaju osnovne pokazatelje kontrole pokreta tijekom promjene smjera. Dužina koraka ukazuje na mehaniku i ekonomičnost kretanja, dok pozicija centra težišta tijela odražava sposobnost stabilizacije i upravljanja opterećenjem na zglobne strukture. Pretjerane vertikalne oscilacije centra težišta mogu povećati opterećenje na koljeno i gležanj, dok neujednačena dužina koraka može ukazivati na kompenzacijske obrasce i potencijalne funkcionalne disbalanse donjih ekstremiteta^{5,9}.

Za kvantifikaciju asimetrije korišten je indeks asimetrije (AI) gdje su D i L vrijednosti desne i lijeve noge^{3,4}:

$$AI\% = \{(D - L)/[(D + L)/2]\} \times 100$$

Indeks je izražen u postocima, pri čemu veće vrijednosti označavaju veću razliku. Izračunati su AI za dužinu koraka (AI_len), minimalnu poziciju centra težišta tijela (AI_min) i maksimalnu poziciju centra težišta tijela (AI_max).

Obrada podataka

Podaci su analizirani u programu Statistica 14.0.1.25 (TIBCO software, Inc., Palo Alto, CA, USA). Izračunati su osnovni deskriptivni statistički pokazatelji varijabli (aritmetička sredina, standardna devijacija). Za usporedbu rukometaša i košarkaša korišten je Hotellingov T² test te univarijatna analiza varijance za svaku pojedinačnu varijablu. Statistička značajnost postavljena je na $p < 0.05$.

REZULTATI

Prikazat će se rezultati deskriptivne statistike i testiranja razlika između rukometaša i košarkaša kadetskog uzrasta. Rezultati su usmjereni na definiranje kinematičkih parametara promjene smjera te indekse asimetrija koji su korišteni za kvantifikaciju razlika donjih ekstremiteta.

U tablici 1. prikazani su osnovni deskriptivni parametri promatranih varijabli. Vrijednosti minimalne i maksimalne pozicije centra težišta tijela bile su vrlo slične između rukometaša i košarkaša, pri čemu su košarkaši u prosjeku imali nešto više vrijednosti, što je i očekivano s obzirom da su u prosjeku viši od rukometaša. U dužini koraka košarkaši su ostvarili veće prosječne vrijednosti za obje noge, uz veću varijabilnost unutar skupine, što znači da se među njima nalaze igrači s vrlo različitim duljinama koraka. S druge strane, analiza indeksa asimetrije pokazala je da rukometaši imaju izraženiju razliku u dužini koraka (AI_len 38,7% vs. 27,8%), dok su indeksi asimetrije za minimalnu i maksimalnu poziciju centra težišta bili niski u obje skupine (<6%).

Hotellingovim T² testom utvrđivala se razlika u svim izmjerenim varijablama između dvije promatrane skupine ispitanika (tablica 2.). Rezultati prikazani u tablici ukazuju da ne postoje statistički značajne razlike između dvije testirane skupine ($F= 0,30$, $p=0,82$). Detaljniji prikaz rezultata za svaku pojedinu varijablu slijedi u Tablici 3.

Tablica 1. Deskriptivni statistički parametri za obje skupine ispitanika, za svaku promatrano varijablu tijekom izvedbe testa agilnosti 20 jardi

Table 1. Descriptive statistical parameters for both groups of participants, for each observed variable during the 20-yard agility test

| Varijabla | RUKOMET | KOŠARKA |
|--------------|-------------|-------------|
| | AS±SD | AS±SD |
| 20Y_OCTTminD | 70,71±7,68 | 74,07±6,69 |
| 20Y_OCTTminL | 72,81±7,92 | 75,62±7,14 |
| 20Y_OCTTmaxD | 86,80±7,47 | 87,28±6,51 |
| 20Y_OCTTmaxL | 88,04±5,44 | 90,94±5,35 |
| 20YlenD | 56,42±9,85 | 59,41±12,43 |
| 20YlenL | 57,32±25,56 | 69,77±14,60 |
| AI_min | 5,30±5,45 | 4,62±3,28 |
| AI_max | 4,09±2,62 | 4,67±4,61 |
| AI_len | 38,68±21,71 | 27,79±28,69 |

Legenda: 20Y_OCTT_min_D/L= minimalna točka centra težišta tijela po vertikalnoj osi tijekom promjene smjera desnom nogom i lijevom nogom; 20Y_OCTT_max_D/L= maksimalna točka centra težišta tijela po vertikalnoj osi nakon promjene smjera desnom i lijevom nogom; 20Y_len_D/L = dužina koraka u trenutku promjene smjera kretanja desnom i lijevom nogom; AI_min= indeks asimetrije za minimalnu poziciju centra težišta tijela; AI_max= indeks asimetrije za maksimalnu poziciju centra težišta tijela. AI_len= indeks asimetrije za dužinu koraka.

Tablica 2. Hotellingov T-kvadrat test za utvrđivanje razlika između grupe rukometaša i košarkaša

Table 2. Hotelling's T-squared test for determining differences between the handball and basketball players

| Efekt | Test | Lambda | F | P |
|-------|-----------|--------|------|------|
| Grupa | Hotelling | 0,08 | 0,30 | 0,82 |

*p=razina statističke značajnosti

Tablica 3. Prikaz rezultata univarijatnog testa za svaku pojedinačnu varijablu između dvije skupine ispitanika

Table 3. Results of the univariate test for each individual variable between the two groups of participants

| Varijabla | F | p |
|-----------|------|------|
| AI_min | 0,09 | 0,77 |
| AI_max | 0,10 | 0,76 |
| AI_len | 0,73 | 0,41 |

Legenda: AI_min = indeks asimetrije za minimalnu poziciju centra težišta tijela; AI_max = indeks asimetrije za maksimalnu poziciju centra težišta tijela; AI_len = indeks asimetrije za dužinu koraka; p=razina statističke značajnosti.

Analiza indeksa asimetrije za svaku pojedinu varijablu nije pokazala značajne razlike između rukometaša i košarkaša ($p > 0,05$). Ipak, deskriptivni podaci ukazuju na određene tendencije, odnosno rukometaši su imali veći prosječni indeks asimetrije u dužini koraka, dok su košarkaši pokazivali više vrijednosti u maksimalnoj poziciji centra težišta tijela te veću varijabilnost unutar skupine. Ovi rezultati sugeriraju da, iako skupine ne pokazuju statistički različite obrasce, pojedini sportaši iskazuju izraženije razlike koje bi mogle imati praktičnu važnost za izvedbu i prevenciju ozljeda. Unatoč manjim razlikama u pojedinim varijablama, cjelokupni kinematički profil promjene smjera kod kadetskih reprezentativaca rukometa i košarke ostaje vrlo sličan.

DISKUSIJA

Glavni nalazi istraživanja pokazali su da između kadetskih rukometaša i košarkaša nema statistički značajnih razlika u kinematičkim parametrima promjene smjera izraženih u indeksima asimetrije. Iako su grupne razlike izostale, analiza parametara pojedinaca otkrila je izraženije razlike, osobito u dužini koraka, pri čemu su neki sportaši prelazili prag od 15%. Takve vrijednosti u literaturi se često ističu kao potencijalni rizični čimbenici za ozljede donjih ekstremiteta, posebice prednjeg križnog ligamenta^{4,10}. Ovaj rezultat upućuje na važnost individualiziranog pristupa u cjelokupnoj biomehantičkoj analizi obrazaca pokreta i programiranju treninga, čak i kada skupna analiza cijele ekipe ne pokazuje značajne razlike. U praktičnom smislu, sportaši kod kojih je indeks asimetrije veći od približno 15 % mogu zahtijevati detaljniju biomehantičku analizu koja, uz kinematičke, obuhvaća i kinetičke parametre te obrasce aktivacije mišića i kontrole pokreta. Takvi nalazi ne moraju nužno ukazivati na neposredan rizik od ozljede, ali mogu ukazati na potrebu za uključivanjem specifičnih unilaterlnih vježbi snage, ravnoteže i stabilizacije u trenažni proces, s ciljem smanjenja potencijalnih disbalansa između ekstremiteta i očuvanja funkcionalne simetrije tijekom promjene smjera.

Pojedina istraživanja također su potvrdila izražene individualne razlike unutar homogenih skupina sportaša testiranih putem sličnih protokola agilnosti. Primjerice, Madruga-Parera i sur. (2021) utvrdili su da se funkcionalne asimetrije između ekstremiteta značajno razlikuju među mladim rukometašima s obzirom na dob i razinu treniranosti, iako na skupnoj razini razlike nisu bile statistički značajne¹². Takvi nalazi potvrđuju da i unutar skupine sportaša slične dobi i razine sposobnosti postoje individualne biomehantičke prilagodbe koje mogu utjecati na obrasce promjene smjera.

Nadalje, Ujaković i Šarabon (2020) utvrdili su da su asimetrije u eksplozivnosti i snazi povezane s lošijom COD izvedbom kod elitnih košarkaša¹⁹. Slične zaključke iznose i Wang i sur. (2025), koji su utvrdili da su asimetrije

u 505 testu i testovima lateralne agilnosti povezane s većom varijabilnošću izvedbe kod sveučilišnih igrača, iako ne nužno sa značajnim smanjenjem ukupne sportske izvedbe²¹. Ovi rezultati sugeriraju da pragovi asimetrije ne djeluju univerzalno na izvedbu, već njihov utjecaj ovisi o tipu zadatka i o specifičnostima sporta. U kontekstu vertikalnih oscilacija centra težišta tijela, Leppänen i sur. (2021) istaknuli su da veće amplitude centra težišta tijekom promjene smjera mogu povećati rizik od neželjenih opterećenja na koljeno i gležanj⁹. Djelomično u skladu s time, rezultati ovog istraživanja upućuju na to da košarkaši u prosjeku postižu nešto više vrijednosti centra težišta tijela, što može biti povezano s njihovim antropometrijskim karakteristikama. Naime, zbog više tjelesne visine i višeg položaja centra težišta, kontrola stabilnosti i redistribucija opterećenja tijekom promjene smjera mogu biti zahtjevniji, što potencijalno povećava rizik od kompenzacijskih obrazaca kretanja i posljedičnih opterećenja donjih ekstremiteta⁵. Petway i sur. (2025) pokazali su da COD izvedbu najbolje razlikuje kombinacija snage donjih ekstremiteta i kontrole centra težišta¹⁴. Navedeno se podudara s ovdje dobivenim nalazima, u kojima su košarkaši u prosjeku iskazivali nešto veće vrijednosti centra težišta tijela, dok su rukometaši pokazivali veće razlike u dužini koraka kada se promatraju promjene u lijevu i desnu stranu.

Kod rukometaša, istraživanja su također pokazala varijabilne obrasce. Madruga-Parera i sur. (2021) ustanovili su da su adolescentni igrači s većim asimetrijama imali slabiju izvedbu sprinta i COD testova¹², dok su Heuvelmans i sur. (2025) ukazali na utjecaj dobi i igračke pozicije na biomehaniku COD-a⁸. Ti nalazi potvrđuju da je funkcionalne asimetrije između ekstremiteta potrebno promatrati u širem kontekstu sportskih zahtjeva, razine treniranosti i individualnih karakteristika. Rezultati provedenog istraživanja nadovezuju se na ovu literaturu i potvrđuju da kod kadetskih reprezentativaca ne postoje značajne skupne razlike po sportovima, ali postoje pojedinci kod kojih su utvrđeni izraženiji disbalansi u kinematičkim parametrima.

Važno je istaknuti praktične implikacije provođenja kinematičke analize u testovima agilnosti s ciljem prevencije ozljeda. Kao što je već spomenuto, prag od približno 10–15% asimetrije često se navodi kao granica koja može imati praktičnu važnost u kontekstu ozljeda^{4,7}. U ovom istraživanju pojedini ispitanici prelazili su taj prag, što se može interpretirati kao rani znak mogućih funkcionalnih disbalansa te potencijalno povećanog rizika od ozljeda donjih ekstremiteta. Takvi nalazi ukazuju na potrebu za dodatnim testiranjima i individualnim trenažnim korekcijama. Posebno je važno sustavno praćenje ovih parametara kod mlađih sportaša, s obzirom da se tijekom razvoja često javljaju obrasci kretanja koji mogu dovesti do povećanog opterećenja zglobnih struktura, osobito koljena⁹. Preventivni programi koji uključuju unilateralne vježbe snage, pliometrijske vježbe sa simetričnim opterećenjem i neuromuskularne programe stabilnosti pokazali su se učinkovitim u smanjenju razlika i očuvanju

funkcionalne ravnoteže između ekstremiteta^{1,20}. Ovi nalazi podržavaju potrebu za redovitim praćenjem biomehaničkih parametara u mlađim uzrastima, kako bi se pravovremeno uvele preventivne mjere i korektivni treninzi. Posebno je važno takve programe primijeniti u kadetskoj dobi, kada se biomehanički obrasci izvođenja jednostavnijih i kompleksnijih pokreta još formiraju, kako bi se rizik od ozljeda smanjio u kasnijim fazama razvoja.

Metodološke prednosti ovog istraživanja uključuju primjenu COD testa 20 jardi, koji je u literaturi prepoznat kao pouzdan alat za procjenu okretne agilnosti¹¹, te korištenje Xsens sustava koji omogućuje detaljnu trodimenzionalnu analizu kinematičkih varijabli¹⁶. Indeks asimetrije korišten u radu temelji se na široko prihvaćenoj metodologiji⁴, čime se osigurava usporedivost s ranijim istraživanjima. Ograničenja uključuju relativno mali uzorak i specifičnost populacije (nacionalne kadetske selekcije), što otežava generalizaciju rezultata na druge skupine. Homogenost uzorka osigurava visoku razinu kontroliranosti, ali istodobno može ograničiti statističku snagu testova te prikriti potencijalno relevantne, ali suptilne razlike među skupinama. Dodatno, nisu uključeni kinetički parametri poput sila reakcije podloge niti mišićna aktivacija, što bi moglo dodatno pomoći u utvrđivanju uzroka i posljedica postojanja asimetrija.

Rezultati ovog istraživanja, u kontekstu dosadašnjih spoznaja, sugeriraju da procjena asimetrija ima smisla jedino kada se promatra u širem biomehaničkom okviru koji uključuje kinematičke i funkcionalne parametre promjene smjera. Takav integrirani pristup omogućuje preciznije razumijevanje načina na koji se sportaši prilagođavaju zahtjevima specifičnih pokreta i kako te prilagodbe mogu utjecati na učinkovitost izvedbe. Umjesto promatranja asimetrija kao izoliranih odstupanja, njihova analiza može pružiti vrijedne informacije o individualnim obrascima kontrole pokreta, stabilnosti i ekonomičnosti kretanja. U tom smislu, biomehaničko praćenje tijekom testova agilnosti ne bi trebalo shvaćati samo kao dijagnostički alat, već i kao sredstvo za dublje razumijevanje međusobnog odnosa između izvedbe i rizika od ozljeda u različitim sportskim kontekstima.

ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjem nisu se utvrdile statistički značajne razlike u indeksima asimetrije između kadetskih rukometaša i košarkaša, no analiza pojedinačnih rezultata pokazala je da kod nekih sportaša utvrđene razlike prelaze prag od 15%. Takve vrijednosti mogu predstavljati potencijalni rizični čimbenik za ozljede donjih ekstremiteta, što naglašava važnost kontinuiranog biomehaničkog praćenja i individualiziranog pristupa u trenažnom procesu. Ovi nalazi mogu pomoći trenerima i kondicijskim stručnjacima u planiranju preventivnih programa i prilagodbi trenažnih opterećenja u svrhu smanjenja rizika od ozljeda. Redovito praćenje biomehaničkih pokazatelja

asimetrije tijekom trenažnog procesa, osobito u razdobljima povećanog opterećenja ili nakon faza rasta, važno je za pravodobno prepoznavanje funkcionalnih disbalansa kod mladih sportaša. Primjena jednostavnih testova promjene smjera te ciljano provođenje preventivnih i korektivnih programa, uključujući unilateralne vježbe stabilizacije,

može doprinijeti smanjenju rizika od ozljeda i očuvanju funkcionalne ravnoteže donjih ekstremiteta. U budućim istraživanjima potrebno je uključiti veće uzorke i različite dobne skupine, različite igračke pozicije i širi spektar biomehaničkih varijabli kako bi se dublje razumio odnos između asimetrija, izvedbe i rizika od ozljeda.

Literatura

1. Arboix-Alió J, Buscà B, Peralta-Geis M, Montalvo AM, Fort-Vanmeerhaeghe A. The Relationship between change-of-direction performance indicators and inter-limb asymmetries in elite youth female basketball players. *J Hum Kinet.* 2025;30(96):235-46.
2. Barrera-Domínguez FJ, Carmona-Gómez A, Tornero-Quiñones I, Sáez-Padilla J, Sierra-Robles Á, Molina-López J. Influence of dynamic balance on jumping-based asymmetries in team sport: A between-sports comparison in basketball and handball athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(4):1866.
3. Bini RR, Hume PA. Assessment of bilateral asymmetry in cycling using a commercial instrumented crank system and instrumented pedals. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(5):876-81.
4. Bishop C, Read P, Chavda S, Turner A. Asymmetries of the lower limb: The calculation conundrum in strength training and conditioning. *Strength Cond J.* 2016;38(6):27–32.
5. Dos'Santos T, Thomas C, Jones PA, Comfort P. Mechanical determinants of faster change of direction speed performance in male athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(3):696-705.
6. Dos'Santos T, Thomas C, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. Change of direction speed and technique modification training improves 180° turning performance, kinetics, and kinematics. *Sports.* 2021;9(6):73.
7. Fox KT, Pearson LT, Hicks KM. The effect of lower inter-limb asymmetries on athletic performance: A systematic review and meta-analysis. *PLoSOne.* 2023;18(6):e0286942.
8. Heuvelmans P, Gokeler A, Benjaminse A, Baumeister J, Büchel D. Agility in handball: Position- and age-specific insights in performance and kinematics using proximity and wearable inertial sensors. *Sensors.* 2025;25(9):2728.
9. Leppänen M, Parkkari J, Vasankari T, Äyrämö S, Kulmala JP, Krosshaug T, Kannus P, Pasanen K. Change of direction biomechanics in a 180-degree pivot turn and the risk for noncontact knee injuries in youth basketball and floorball players. *Am J Sports Med.* 2021;49(10):2651–61.
10. Lin J, Shen J, Zhou A, Badicu G, Grosz WR. The effects of inter-limb asymmetry on change of direction performance: A systematic review. *Symmetry.* 2022;14(10):2177.
11. Los Arcos A, Mendiguchia J, Yanci J. Specificity of jumping, acceleration and quick change of direction motor abilities in soccer players. *Kinesiology.* 2017;49(1):22–7.
12. Madruga-Parera M, Bishop C, Beato M, Fort-Vanmeerhaeghe A, Gonzalo-Skok O, Romero-Rodríguez D. Relationship between inter-limb asymmetries and speed and change of direction speed in youth handball players. *J Strength Cond Res.* 2021;35(12):3482–90.
13. McCormick BT, Hannon JC, Newton M, Shultz B, Detling N, Young WB. The effects of frontal- and sagittal-plane plyometrics on change-of-direction speed and power in adolescent female basketball players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(1):102-7.
14. Petway AJ, Harper D, Cohen D, Eriksrud O. Factors differentiating change of direction performance in NCAA power 4 male basketball athletes. *Int J Sports Sci Coach.* 2025; Advance online publication.
15. Popowczak M, Cichy I, Rokita A, Domaradzki J. The relationship between reactive agility and change of direction speed in professional female basketball and handball players. *Front Psychol.* 2021;12:708771.
16. Robert-Lachaine X, Mecheri H, Larue C, Plamondon A. Validation of inertial measurement units with an optoelectronic system for whole-body motion analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2017;55(4):609-19.
17. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci.* 2006;24(9):919–32.
18. Slawinski J, Louis J, Poli J, Tiollier E, Khazoom C, Dinu D. The effects of repeated sprints on the kinematics of 3-point shooting in basketball. *J Hum Kinet.* 2018;62:5-14.
19. Ujaković F, Šarabon N. Change of direction performance is influenced by asymmetries in jumping ability and hip and trunk strength in elite basketball players. *Appl Sci.* 2020;10(19):6984.
20. Ujaković F, Šarabon N. The effects of workload difference between limbs in plyometric and strength exercises in reducing asymmetry in change of direction ability during basketball season. *J Strength Cond Res.* 2023;37(11):2282-2288.
21. Wang P, Lyu M, Geng N, Wu Z, Ren X, Kozinc Ž, i sur. Asymmetry in college basketball players: change of direction performance in shuffle movement and 505 test. *Front Physiol.* 2025;16:1587719.