



Tim Vončina,
Primož Pori, Nejc Šarabon, Darjan Spudič

Vpliv tehnične izvedbe na višino vertikalnega enonožnega skoka z nasprotnim gibanjem pri rokometaših

Izvleček

Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv tehnične izvedbe na višino enonožnega skoka z nasprotnim gibanjem pri rokometaših. V raziskavo je bilo vključenih 80 vrhunskih rokometašev (starost 22 ± 4 leta; telesna masa $90,8 \text{ kg} \pm 10 \text{ kg}$; telesna višina $1,9 \pm 0,06 \text{ m}$). Protokol meritev je obsegal tri enonožne skoke z vsako nogo. Tehnika skoka je bila posneta v bočni in čelni ravnini s frekvenco snemanja 100 Hz. S programsko opremo Kinovea smo v trenutku najnižjega ocenjenega vertikalnega položaja velikega trohantra izračunali naklone in kote med telesnimi segmenti v bočni (golen, stegno, trup) in čelni (golen, stegno, medenica in trup) ravnini. S t-testom za odvisne vzorce smo ugotovili statistično značilne razlike v višini skoka med dominantno in nedominantno nogo. Z multiplo linearno regresijsko analizo smo za dominantno nogo ugotovili, da ima največji vpliv na višino skoka spremenljivka naklon stegna v čelni ravnini v trenutku najnižjega položaja velikega trohantra, in sicer večji kot je naklon stegna, nižji je skok. Za nedominantno nogo nismo našli kinematičnih spremenljivk, ki bi statistično značilno napovedovale višino enonožnega skoka z nasprotnim gibanjem. Izsledki dosedanjih študij na tem področju prikazujejo, da je večji naklon stegna v čelni ravnini ob odzivu ali pristanku dejavnik tveganja za nastanek poškodb spodnjih ekstremitet. Na podlagi rezultatov naše raziskave pa lahko zaključimo, da manjši naklon stegna v čelni ravnini ob odzivu predstavlja tudi dejavnik uspešnosti izvedbe enonožnega skoka z nasprotnim gibanjem.

Ključne besede: odzivna moč, tehnika skoka, kinematična analiza, valgus, naklon stegna



The impact of technical execution on the vertical single-leg counter-movement jump height in handball players

Abstract

The purpose of the research was to determine whether the technical execution of the single-leg counter-movement jump affects the height of the jump in handball players. Eighty elite handball players (age 22 ± 4 years; body mass $90.8 \pm 10 \text{ kg}$; body height $189.8 \pm 5.6 \text{ cm}$) were included in the study. The measurement protocol consisted of three jumps with each leg. Performance was recorded in the lateral and frontal planes with a recording frequency of 100 Hz. Using Kinovea software, we calculated the inclinations and angles at the time-point of the lowest estimated vertical position of the greater trochanter between body segments in the lateral (shin, thigh, trunk) and frontal (shin, thigh, pelvis, and trunk) planes. Using the paired-samples t-test, we found statistically significant differences in jump height between the dominant and non-dominant leg. Multiple regression analyses showed that for the dominant leg, the angle of the thigh when the body is at its lowest position greatly affects jump height; specifically, a steeper thigh angle results in a lower jump height. We did not find any significant kinematic variables that predict jump height for the non-dominant leg. Other research has indicated that a greater thigh inclination during push-off and landing increases the risk of lower limb injuries. Based on the results of our research, we can conclude that a lower inclination of the thigh in the frontal plane during the push-off phase is also a predisposing factor for higher single-leg counter-movement jump height.

Keywords: Power performance, jump technique, kinematic analysis, valgus, thigh inclination

Uvod

Skoki so sestavljeni iz faz odziva, leta in doskoka. Izvaja se jih v daljino, globino in višino, odziv pa je lahko izveden sonožno ali enonožno. Športne panoge in discipline so sestavljene iz kombinacije enostranskih in obojestranskih vzorcev gibanja. Pri acikličnih športih, med katere spada roket, se večina gibalnih akcij izvede in zaključijo enostransko (enonožno ali enoročno) (Martinc, 2018). Rokomet je ekipni šport, za katerega so značilna visoko intenzivna asimetrična gibanja, ki zahtevajo od športnikov vrhunsko telesno pripravljenost (García-Sánchez idr., 2023). Pri rokometu več se več kot 70 % strelav med tekmo izvede iz skoka z enonožnim odzivom (Cardinale, 2014) in dominantno roko, prav tako se po večini izvajajo enoročne podaje. Sama sposobnost skoka v višino je močno povezana s športno uspešnostjo (Fry in Kraemer, 1991; McErlain-Naylor idr., 2014), zato smo pozornost posvetili enonožni izvedbi skoka.

Skok z nasprotnim gibanjem (*angl.* counter-movement jump: CMJ) je eden izmed najpogostejše uporabljenih testov za analizo zmogljivosti živčno-mišičnega sistema pri športnikih. Pri testu spremljamo specifične dejavnike uspešnosti, ki so bodisi kinematični (višina skoka, koti sklepov, nakloni telesnih segmentov) ali pa kinetični (največja moč, relativna moč, največja hitrost, največja sila, prirastek sile) (Claudino idr., 2017). Raziskave na tem področju navajajo, da na uspešnost skokov pozitivno vplivajo mišična moč (Aragón-Vargas in Gross, 1997), koordinacija (Bobbett, 2002) in gibljivost (Godinho idr., 2019) spodnjih ekstremitet, asimetrije v mišični moči med nogama pa na višino skokov vplivajo negativno (Bishop idr., 2016).

V literaturi so mehanske spremenljivke pogosto analizirane v povezavi z uspešnostjo skokov. Vertikalni impulz sile na podlago namreč neposredno odraža višino skoka (Linthorne, 2001). Do zdaj objavljena literatura nakazuje tudi, da razlike med nogama v odzivni moči pri izvedbi CMJ, večje od 10 %, pomenijo večje tveganje za nastanek poškodb spodnjih ekstremitet (Fort-Vanmeerhaeghe idr., 2022). Študij, ki bi preučevala tehnično izvedbo enonožnih CMJ in njen vpliv na višino skoka, pa v trenutku našega raziskovanja ni bilo. V raziskavi (McErlain-Naylor idr., 2014), pri kateri so preučevali tehnično izvedbo sonožnega CMJ, je izpostavljeno, da na višino skoka najbolj vplivata dve spremenljivki, in sicer velikost kota upogiba v kolku ob prehodu

iz spuščanja v dviganje težišča telesa in velikost kota iztega gležnja v trenutku zapustitve podlage. Skupaj pojasnjujeta več kot polovico variance višine skoka.

Na podlagi pregleda literature ugotavljamo, da primanjkuje študij, ki bi preučevale vpliv tehnične izvedbe enonožnega CMJ na višino skoka. Ugotavljamo tudi, da ni splošnega soglasja o uporabi absolutnih (nakloni telesnih segmentov) ali relativnih (kot med telesnimi segmenti) spremenljivk za analizo tehnične izvedbe skokov. Ker se v rokometu skoki pogostejše izvajajo z odzivno dominantno nogo, je bil prvi namen naše študije na podlagi enostavne dvodimenzionalne kinematične analize gibanja pri izvedbi enonožnega CMJ v bočni in čelni ravnini ugotoviti, ali se višina skoka in tehnična izvedba skoka razlikujeta med nogama. Drugi namen pa je bil ugotoviti, ali tehnična izvedba vpliva na višino skoka. Na podlagi pregleda literature (McErlain-Naylor idr., 2014) smo predpostavljali, da bo višina enonožnega CMJ odvisna od kota upogiba v kolku in kota upogiba v kolenu ob odzivu v bočni ravnini. Na podlagi prejšnjih raziskav na rokometistih (González-Ravé, 2014; Havolli, 2020; Madrugá-Parera, 2020), pri katerih razlik v moči iztegovalk nog med nogama niso odkrili, so pa ugotovili razliko v višini enonožnega skoka med nogama, smo sklepali, da bodo razlike med nogama v višini CMJ posledica različne tehnične izvedbe skoka.

Metode

Preizkušanci

V raziskavo je bilo prostovoljno vključenih 80 vrhunskih rokometistev iz prve slovenske rokometne lige. Karakteristike preizkušancev so podrobneje predstavljene v Tabeli 1. Izključitveni kriteriji za sodelovanje so bile kakršnekoli poškodbe spodnjih

okončin in trupa, ki bi lahko vplivale na izvedbo skokov. Pred izvedbo testiranja so preiskovanci podpisali soglasje, da se meritev udeležujejo na lastno odgovornost, ter izpolnili vprašalnik o pripravljenosti na vadbo (Bredin idr., 2013). Seznajeni so bili s pravico do odstopa od raziskave brez posledic. Merjenci so dobili navodilo, da 2 dni pred meritvami ne izvajajo visoko intenzivne vadbe za moč, ki bi zajemala spodnje okončine. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (World Medical Association, 2013).

Postopek meritev in obdelava podatkov

Meritve smo opravili na Fakulteti za šport v Ljubljani. Pred meritvami so preizkušanci izvedli standardiziran desetminutni protokol ogrevanja. Merilni protokol je vseboval 6 enonožnih CMJ (po tri z vsako nogo). Dominantna noga je bila pozneje določena glede na višino skoka. CMJ je bil sestavljen iz kratkega in hitrega ekscentričnega spusta do poljubne globine, sledila sta hiter koncentrični del in odziv. Roke so imeli položene na boke.

Pred izvedbo skoka smo na preizkušance namestili markerje, in sicer na naslednje anatomske točke v bočni ravnini (Slika 1): I) sredina deltaste mišice, II) veliki trohanter, III) lateralni epikondil in IV) lateralni maleol, ter v čelni ravnini (Slika 2): I) žlička prsnice, II) teleskopski marker (5 cm bočno od srednjega zgornjega črveničnega grebena – ASIS), III) sredina stegnenice (polovična razdalja od sredine pogačice do ASIS), IV) sredina pogačice in V) sredina narta. Tehnično izvedbo skokov smo posneli v bočni in čelni ravnini. Uporabili smo dve med seboj pravokotno postavljeni kameri Panasonic DMC-FZ200 s frekvenco snemanja 100 Hz (Panasonic Corporation, Kadoma, Osaka, Japonska). Postavljeni sta bili na vi-

Tabela 1
Karakteristike vzorca preizkušancev

spremenljivka	M (SD)	najvišja vrednost	najnižja vrednost	95 % IZ
starost (leta)	22 (4)	32	16	(20,9; 22,7)
telesna višina (m)	1,90 (0,06)	2,03	1,79	(1,89; 1,91)
telesna masa (kg)	90,8 (10,0)	124,4	74,6	(88,6; 93,1)
ITM (kg/m ²)	25,2 (2,1)	32,7	21,5	(24,7; 25,7)
trenažni staž (leta)	12 (4)	24	5	(11,0; 12,8)

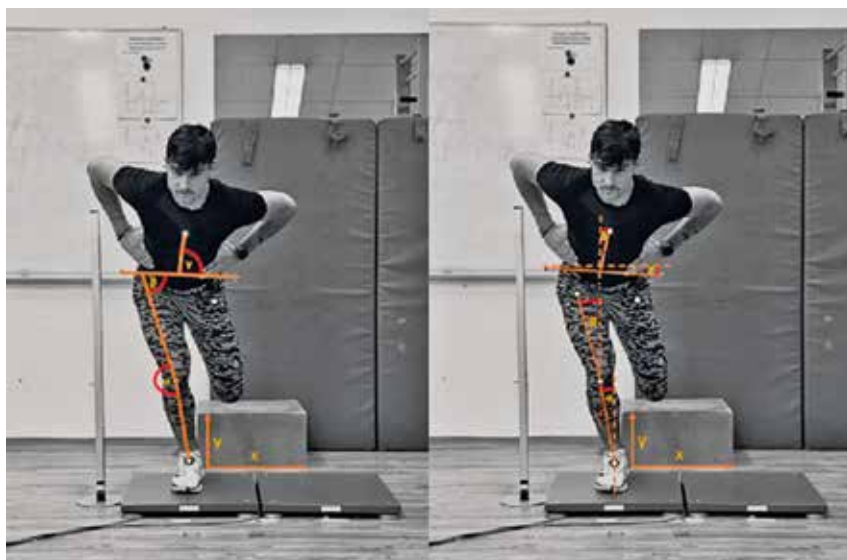
Opomba. N = 80; M = aritmetična sredina; SD = standardni odklon; IZ = interval zaupanja; ITM = indeks telesne mase.

šini enega metra in od merjenca bočno ali čelno odmaknjeni tri metre.

Višino velikega trohantra v bočni ravnini smo odčitali v stoji pred začetkom izvedbe skoka. Vse preostale spremenljivke smo analizirali v trenutku, ko je bil vertikalni položaj velikega trohantra v bočni ravnini s strani raziskovalca ocenjen kot najnižji. Tehnično izvedbo enonožnega skoka smo izrazili s t. i. absolutnimi (nakloni telesnih segmentov glede na vertikalo ali horizontalo) in relativnimi (koti med telesnimi segmenti) kinematičnimi spremenljivkami. Za lažjo predstavbo so kinematične spremenljivke v bočni in čelni ravnini prikazane na Slikah 1 in 2.

Uspešnost enonožnega CMJ je bila vrednotena z *višino skoka*, ki je bila izmerjena kot vertikalna razdalja od stojne višine velikega trohantra do najvišje vertikalne višine velikega trohantra v času leta v bočni ravnini. *Amplituda spusta* ob odzivu [spremenljivka: bočno – amplituda] je bila izmerjena kot vertikalna razdalja med položajem velikega trohantra v stoji in njegovim najnižjim ocenjenim položajem pri spustu v polčep od odzivu v bočni ravnini.

Pri relativnih kinematičnih spremenljivkah v bočni ravnini so bili koti v sklepih izračunani med dvema segmentnima premicama, ki sta bili opredeljeni z dvema markerjema na proksimalnem in distalnem delu segmenta. Vrh *kota v kolenu* [spremenljivka: bočno – kot v kolenu] (Slika 1, levo, označen z α) je predstavljal marker na lateralnem epikondilu, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na velikem trohantru in lateralnem maleolu gležnja. Vrh *kota v kolku* [spremenljivka: bočno – kot v kolku] (Slika 1, desno, označen z β) je predstavljal marker na velikem trohantru, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na sredini deltaste mišice in lateralnem epikondilu.



Slika 2. Kinematične spremenljivke v čelni ravnini

Opomba. Leva slika prikazuje relativne kinematične spremenljivke (koti med segmenti) in desna absolutne (naklone segmentov glede na vertikalo ali horizontalo). Foto: arhiv Ažbeta Ribiča

Pri absolutnih kinematičnih spremenljivkah v bočni ravnini so bili nakloni segmentov izračunani med vertikalno premico in segmentnimi premicami, ki so bile opredeljene z dvema markerjema na proksimalnem in distalnem delu segmenta. Vrh *kota* [spremenljivka: bočno – naklon] (Slika 1, desno, označen z γ) je predstavljal marker na velikem trohantru, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na velikem trohantru in lateralnem maleolu gležnja. Vrh *kota v kolku* [spremenljivka: bočno – kot v kolku] (Slika 1, levo, označen z β) je predstavljal marker na velikem trohantru, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na sredini deltaste mišice in lateralnem epikondilu.

Pri absolutnih kinematičnih spremenljivkah v bočni ravnini so bili nakloni segmentov izračunani med vertikalno premico in segmentnimi premicami, ki so bile opredeljene z dvema markerjema na proksimalnem in distalnem delu segmenta. Vrh *kota* [spremenljivka: bočno – naklon] (Slika 1, desno, označen z γ) je predstavljal marker na velikem trohantru, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na velikem trohantru in lateralnem maleolu gležnja. Vrh *kota v kolku* [spremenljivka: bočno – kot v kolku] (Slika 1, levo, označen z β) je predstavljal marker na velikem trohantru, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na sredini deltaste mišice in lateralnem epikondilu.

naklon goleni [spremenljivka: bočno – naklon goleni] (Slika 1, desno, označen z α) je predstavljal marker na lateralnem maleolu, krak kota pa je potekal skozi marker na lateralnem epikondilu kolena. Vrh *kota naklon stegna* [spremenljivka: bočno – naklon stegna] (Slika 1, desno, označen z β) je predstavljal marker na lateralnem epikondilu kolena, krak kota pa je potekal skozi marker na velikem trohantru stegenice. Vrh *kota naklon trupa* [spremenljivka: bočno – naklon trupa] (Slika 1, desno, označen z γ) je predstavljal marker na velikem trohantru, krak kota pa je potekal skozi marker na sredini deltaste mišice.



Slika 1. Kinematične spremenljivke v bočni ravnini

Opomba. Leva slika prikazuje relativne kinematične spremenljivke (koti med segmenti) in desna absolutne (naklone segmentov glede na vertikalo). Foto: arhiv Ažbeta Ribiča

Pri relativnih kinematičnih spremenljivkah v čelni ravnini so bili koti v sklepih izračunani med dvema segmentnima premicama, ki sta bili opredeljeni z dvema markerjema na segmentu. Vrh *kota v kolenu* [spremenljivka: čelno – kot v kolenu] (Slika 2, levo, označen z α) je predstavljal marker na sredini pogačice, njegova kraka pa sta potekala skozi markerja na sredini stegenice in sredini narta. Vrh *kota v kolku* [spremenljivka: čelno – kot v kolku] (Slika 2, levo, označen z β) je predstavljalo presečišče med premico, ki je potekala skozi teleskopska markerja (prvi krak), ter premico, ki je potekala skozi markerja na sredini stegna in sredini pogačice (drugi krak). Vrh *kota med medenico in trupom* [spremenljivka: čelno – kot medenica–trup] (Slika 2, levo, označen z γ) je predstavljal marker na polovični razdalji premice, ki je povezovala oba teleskopska markerja, njegova kraka pa sta potekala

skozi markerja na žlički prsnice in teleskopski marker na strani odrivne noge.

Pri absolutnih kinematičnih spremenljivkah v čelni ravnini so bili nakloni segmentov izračunani med vertikalno premico (z izjemo naklona medenice) in segmentnimi premicami, ki so bile opredeljene z dvema markerjema na segmentu. Vrh kota *naklon goleni* [spremenljivka: čelno – naklon goleni] (Slika 2, desno, označen z α) je predstavljal marker na sredini narta, krak pa je potekal skozi marker na sredini pogačice. Vrh kota *naklon stegna* [spremenljivka: čelno – naklon stegna] (Slika 2, desno, označen z β) je predstavljal marker na sredini pogačice, krak kota pa je potekal skozi marker na sredini stegna. Vrh kota *naklon trupa* [spremenljivka: čelno – naklon trupa] (Slika 1, desno, označen z δ) je predstavljala točka na polovični razdalji premice, ki povezuje oba teleskopska markerja, krak kota pa je potekal skozi marker na žlički. Vrh kota *naklon medenice* [spremenljivka: čelno – naklon medenice] (Slika 2, desno, označen z γ) je, izjemoma, predstavljalo presečišče med horizontalo (prvi krak) in premico, ki je potekala skozi teleskopska markerja (drugi krak).

Za obdelavo posnetkov smo uporabili prosto dostopno programsko opremo Kinovea (www.kinovea.org, verzija 0.9.5). Zanesljivost in veljavnost programske opreme za pridobivanje kinematičnih parametrov je bila predhodno preverjena in je odlična (ICC > 0,80) (Puig-Diví, 2019). V stoji (samo za položaje markerja na velikem trohantru) in v trenutku najnižjega ocenjenega vertikalnega položaja velikega trohantra smo ročno označili markerje na videoposnetku ter s tem pridobili njihov položaj v dvodimenzionalnem prostoru (koordinate x in y). Prostor smo predhodno umerili glede na krajšo vertikalno stranico pravokotne skrinje, ki je bila visoka 0,3 m. Koordinate markerjev smo izvozili v Excel (Microsoft Office Excel 2019, Microsoft, Washington, ZDA) ter v njem z vnaprej pripravljenimi skripti izračunali naklone telesnih segmentov v prostoru in kote med segmenti. V prvem koraku smo izračunali smerne koeficiente premic segmentov, ki sta jih tvorila dva markerja na posameznem segmentu (x_1, y_1 in x_2, y_2). V drugem koraku smo s funkcijo $\arctan$ in s predhodno pridobljenimi smernimi koeficienti premic izračunali naklone segmentov glede na horizontalo. Rezultate smo pretvorili v kotne stopinje in nato za vse spremenljivke, razen za odklon medenice v čelni ravnini, izračunali še

odklone od vertikale, tako da smo rezultat odšteli od 90°.

Statistična analiza

Izračunana je bila opisna statistika za lastnosti vzorca preiskovancev in rezultate skokov. Za izboljšanje zanesljivosti rezultatov smo v statistično analizo vstopali s povprečjem rezultatov treh skokov. Razlike med nogama v višini skokov ter tehnični izvedbi skokov v bočni in čelni ravnini smo analizirali s t-testom za odvisne vzorce. Za ugotavljanje velikosti učinka razlik smo uporabili Cohenov koeficient d (Cohen, 1988). Predhodno je bila normalnost porazdelitve razlik med nogama preverjena s Shapiro-Wilkovim testom. Merila za razlago velikosti ES so bila naslednja: zanemarljiva (< 0,20), majhna (0,20–0,50), zmerna (0,50–0,80) in velika ($\geq 0,81$) (Cohen, 1988).

Povezanost med višino skokov in kinematičnimi spremenljivkami smo posebej za dominantno in nedominantno nogo izračunali z uporabo Pearsonovega koeficienta korelacije (r). Predhodno smo preverili linearnost povezave med rezultati višine skokov in kinematičnimi spremenljivkami z razsevnim grafikonom. Merila za razlago velikosti povezanosti korelacij so bila naslednja: trivialna (< 0,1), majhna (0,1–0,3), zmerna (0,3–0,5), visoka (0,5–0,7), zelo visoka (0,7–0,9) in popolna (> 0,9) (Hopkins idr., 2009).

Vpliv tehnične izvedbe enonožnih CMJ na višino skoka smo za vsako nogo posebej ugotavljali z multiplo linearno regresijo. Pred izvedbo regresijske analize smo dodatno preverili predpostavke o: a) normalnosti porazdelitve ostankov ocenjene regresijske funkcije (modul P-P plot; $x = ZPRED$, $y = ZRES$), b) homoskedastičnosti ostankov (razsevni grafikon ostankov je pokazal, da je varianca ostankov neodvisna od vrednosti neodvisne spremenljivke), c) neodvisnosti ostankov (korelacije med ostanki so bile preverjene z Durbin-Watsonovim testom in sprejeli smo vrednosti v razponu od 1,5 do 2,5) in d) odsotnosti multikolinearnosti (korelacijski koeficient med neodvisnimi spremenljivkami < 0,8 in spremenljivka kolinearnosti »VIF« < 5). Napovedno število spremenljivk v posameznem modelu smo določili z metodo vnaprejšnje izbire (angl. forward selection).

Za obdelavo podatkov je bil uporabljen statistični program SPSS za Windows 25.0 (IBM Corporation, New York, ZDA). Statistična značilnost je bila sprejeta z dvostransko 5-odstotno napako alfa.

Rezultati

Tabela 2 prikazuje opisno statistiko rezultatov za dominantno in nedominantno nogo ter razlike med nogama. S t-testom za odvisne vzorce smo ugotovili statistično značilne razlike med nogama v rezultatih višine skokov ($p < 0,05$). Razlike med nogama so bile velike ($d > 0,9$). Preiskovanci so z dominantno nogo v povprečju skakali 3 cm višje, kar znaša 17 %. V rezultatih kinematičnih spremenljivk med nogama nismo ugotovili statistično značilnih razlik ($p > 0,05$).

Tabela 3 prikazuje povezanost med rezultati kinematičnih spremenljivk in višino skokov za dominantno in nedominantno nogo. S Pearsonovim korelacijskim koeficientom smo ugotovili statistično značilno negativno povezanost med dominantno nogo in naklonom stegna v frontalni ravnini pri subjektivnem ($p < 0,05$). Velikost povezanosti je bila v tem primeru srednja, v vseh drugih primerih pa neznatna in statistično neznajljiva.

Z multiplo regresijsko analizo, s katero smo preverjali vpliv kinematičnih spremenljivk na višino enonožnih skokov posebej za dominantno nogo in nedominantno nogo, smo ugotovili, da izmed vseh spremenljivk samo *naklon stegna v čelni ravnini* statistično značilno negativno vpliva na višino skoka z dominantno nogo ($p < 0,05$). To pojasnjuje majhen delež variance regresijskega modela ($R^2 = 8,7 \%$). Za nedominantno nogo nismo našli kinematičnih spremenljivk, ki bi statistično značilno vplivale na višino enonožnega CMJ.

Razprava

Namena naše študije sta bila na podlagi enostavne dvodimenzionalne kinematične analize gibanja pri izvedbi enonožnega CMJ v bočni in čelni ravnini ugotoviti, ali se višina skoka in tehnična izvedba skoka razlikujeta med nogama in ali tehnična izvedba vpliva na višino skoka. Ugotovili smo, a) da se višina CMJ statistično razlikuje med dominantno in nedominantno nogo, b) da je izmed vseh analiziranih kinematičnih spremenljivk samo *naklon stegna v čelni ravnini* statistično značilno negativno povezan z višino CMJ pri dominantni nogi ter c) da lahko samo s spremenljivko *naklon stegna v čelni ravnini pri dominantni nogi* statistično značilno napovemo rezultat višine enonožnega CMJ. Na podlagi rezultatov naše raziskave lahko zavrnamo prvo predpostavko, s katero smo predvidevali, da bo višina

Tabela 2

Opisna statistika rezultatov višine skokov in kinematičnih spremenljivk

Spremenljivke	DOM	NDOM	Razlika (NDOM-DOM)	t	t (p)	d
višina skoka (m)	0,21 (0,03)	0,18 (0,03)	-0,03 (0,03)	-8,31	< 0,05	-0,95
bočno – amplituda (cm)	12,88 (2,95)	13,91 (5,80)	-1,03 (5,86)	-1,54	0,13	-0,18
bočno – kot v kolku (°)	106,99 (9,87)	105,87 (9,80)	1,12 (7,91)	1,24	0,22	0,14
bočno – kot v kolenu (°)	112,73 (6,79)	112,64 (7,41)	0,08 (6,54)	0,11	0,91	0,01
bočno – naklon goleni (°)	31,47 (3,55)	31,01 (3,76)	0,46 (3,62)	1,10	0,28	0,13
bočno – naklon stegna (°)	35,94 (5,47)	36,35 (5,42)	-0,41 (4,83)	-0,75	0,46	-0,09
bočno – naklon trupa (°)	38,86 (9,37)	40,03 (10,00)	-1,17 (6,32)	-1,61	0,11	-0,19
čelno – naklon goleni (°)	6,63 (3,63)	6,91 (5,70)	-0,28 (6,22)	-0,40	0,69	-0,05
čelno – naklon stegna (°)	10,06 (4,94)	11,04 (6,04)	-0,98 (7,4)	-1,16	0,25	-0,13
čelno – naklon medenice (°)	85,72 (4,06)	84,85 (5,90)	0,87 (7,03)	1,08	0,29	0,12
čelno – naklon trupa (°)	20,07 (11,90)	22,03 (12,76)	-1,96 (13,15)	-1,30	0,20	-0,15
čelno – kot v kolenu (°)	171,79 (5,10)	171,7 (5,55)	0,09 (7,37)	0,11	0,92	0,012
čelno – kot v kolku (°)	77,74 (6,57)	77,67 (6,52)	0,07 (9,11)	0,07	0,95	0,01
čelno – kot medenica-trup (°)	110,17 (13,17)	112,54 (13,89)	-2,37 (15,78)	-1,31	0,20	-0,15

Opomba. Rezultati so prikazani kot aritmetična sredina (standardni odklon). d = Cohenov koeficient d; t = t-testna statistika; t (p) = statistična značilnost; DOM = dominantna noga; NDOM = nedominantna noga.

enonožnega CMJ odvisna od velikosti kota upogiba v kolku in velikosti kota upogiba v kolenu ob odzivu v bočni ravnini. Prav tako lahko zavrnamo drugo predpostavko, da bodo razlike v višini skoka med nogama posledica drugačne tehnične izvedbe skoka, saj razlik v rezultatih kinematičnih spremenljivk med nogama nismo odkrili.

Ugotovili smo statistično značilne razlike med dominantno in nedominantno nogo v višini CMJ, toda razlike niso odraz drugačne tehnične izvedbe gibanja med skokom, saj nismo odkrili statistično značilnih razlik v rezultatih kinematičnih spremenljivk med nogama. Rezultati so v nasprotju s pričakovanji, saj predhodne raziskave na rokometiških (González-Ravé, 2014; Havolli, 2020; Madruga-Parera, 2020) niso ugotovile razlik v moči iztegovalk nog med nogama, ugotovile pa so razliko v višini enonožnega CMJ med nogama. Na podlagi tega smo sklepali, da rokometiški skoke z dominantno nogo izvajajo tehnično drugače kot skoke z nedominantno nogo (ta je v rokometni igri manj pogosto uporabljena za odziv) in da je to dejavnik, ki vpliva na razlike v višini skoka med nogama. Na tehnično izvedbo odziva lahko vpliva tudi moč mišic kot predispozicija za optimalno izvedbo gibalnega vzorca v trenutkih velikih obremenitev. Predvidevamo, da je 17-odstotna razlika v povprečnih rezultatih višine CMJ med nogama lahko posledica številnih enonožnih skokov in drugih enostranskih športno spe-

cifičnih gibanj (doskoki, spremembe smeri) (López-Valenciano idr., 2020), kar vodi v izrazite asimetrije v maksimalni in hitri moči iztegovalk nog ter trupa med odzivno dominantno in odzivno nedominantno nogo (Madruga-Parera idr., 2021). Prav tako je razlika med nogama lahko posledica optimalnejše medmišične koordinacije skoka

z dominantno nogo, ki se v rokometu pojavlja zelo pogosto. Rokometiški namreč več kot dve tretjini strelav med tekmo izvedejo iz skoka z enonožnim odzivom. V raziskavi je bila izvedba skoka standardizirana s položajem dlani na bokih in večina rokometiške je enonožni skok v višino z mesta izvajala prvič. Možno je, da zaradi teh razlo-

Tabela 3

Povezanost med rezultati kinematičnih spremenljivk ter višino skoka z dominantno in nedominantno nogo

Spremenljivka	Višina skoka	
	DOM	NDOM
bočno – amplituda	0,05 (-0,18; 0,28)	0,14 (-0,09; 0,35)
bočno – kot v kolku	-0,08 (-0,30; 0,15)	-0,18 (-0,39; 0,05)
bočno – kot v kolenu	0,02 (-0,21; 0,24)	-0,09 (-0,31; 0,14)
bočno – naklon goleni	-0,01 (-0,23; 0,23)	-0,03 (-0,25; 0,2)
bočno – naklon stegna	-0,05 (-0,27; 0,18)	0,14 (-0,09; 0,35)
bočno – naklon trupa	0,09 (-0,15; 0,31)	0,13 (-0,10; 0,34)
frontalno – naklon goleni	0,21 (-0,02; 0,42)	-0,08 (-0,30; 0,14)
frontalno – naklon stegna	-0,30 (-0,49; -0,07)*	-0,04 (-0,26; 0,19)
frontalno – naklon medenice	-0,1 (-0,32; 0,13)	0,03 (-0,2; 0,25)
frontalno – naklon trupa	0,04 (-0,19; 0,26)	0,01 (-0,21; 0,24)
frontalno – kot v kolenu	0,2 (-0,03; 0,41)	0,04 (-0,19; 0,26)
frontalno – kot v kolku	0,09 (-0,14; 0,31)	0,08 (-0,15; 0,29)
frontalno – kot medenica-trup	0,08 (-0,15; 0,31)	-0,00 (-0,23; 0,22)

Opomba. Rezultati so prikazani kot Pearsonov korelacijski koeficient (95-odstotni interval zaupanja). DOM = dominantna noga; NDOM = nedominantna noga. * = statistično značilna povezanost ($p < 0,05$).

gov različna tehnična izvedba skoka med nogama (ki smo jo pričakovali na podlagi izrazito večjega števila izvedenih skokov z dominantno nogo v rokometni igri) ni prišla do izraza. V raziskavi nismo merili odzivne moči iztegovalk nog, zato razlik v višini skokov med nogama, v nasprotju s prejšnjimi raziskavami, tudi ne moremo pripisati razlikam v moči spodnjih okončin.

Na podlagi pregleda literature (McErlain-Naylor idr., 2014) smo predpostavljali, da bo višina enonožnega CMJ odvisna od velikosti kota upogiba v kolku in velikosti kota upogiba v kolenu ob odzivu v bočni ravnini. Pridobljeni rezultati regresijske analize pa kažejo, da izmed vseh analiziranih spremenljivk na višino CMJ z dominantno nogo negativno vpliva samo *naklon stegna v čelni ravnini*. Večji naklon stegna je sestavni del dinamičnega valgusnega položaja kolena (Wilczyński, idr., 2020), ta pa se je v preteklosti izkazal kot napovedni dejavnik za nastanek akutnih poškodb kolena (McLean idr. 2005). Na podlagi ugotovitev preteklih raziskav (Graber idr., 2021; Vadász idr., 2022) sklepamo, da je naklon stegna lahko posledica šibkosti mišic odmikalk kolka, kar po eni strani onemogoča stabilnost medenice ob velikih obremenitvah pri odzivu, po drugi strani pa omejuje prenos energije s trupa na noge pri izvedbi skoka (Bobbert in Van Ingen Schenau, 1988). Rezultat obojega je lahko manjša vertikalna komponenta sile na podlago in nižji skok. Napovedna vrednost spremenljivke je majhna in pojasni samo 8,7 % skoka, kar pomeni, da na višino skoka vplivajo še drugi dejavniki, ki jih z rezultati raziskave ne moremo pojasniti. McErlain-Naylor idr. (2014) so ugotovili, da na uspešnost sonožnega CMJ v veliki meri vpliva hitra moč mišic nog. Kar 44 % variance višine CMJ pojasnjuje hitra moč iztegovalk kolena. Skupaj rezultati moči iztegovalk kolka, iztegovalk gležnja in iztegovalk kolena pojasnijo kar 74 % višine CMJ. V raziskavi nismo merili lokalne mišične moči iztegovalk nog, zato razlik v višini skokov med nogama in pojava večjega naklona stegna v čelni ravnini pri dominantni nogi, ki omejuje višino skoka, tudi ne moremo pripisati moči spodnjih okončin.

Prejšnje študije na področju analize tehnične izvedbe skokov vključujejo relativne spremenljivke (koti med telesnimi segmenti) in absolutne spremenljivke (nakloni telesnih segmentov). V naši raziskavi smo analizirali oboje in ugotovili, da je za napovedovanje višine enonožnega CMJ z dominantno nogo bolj občutljiva absolu-

tna spremenljivka (*naklon stegna glede na vertikalo v čelni ravnini*). Ker smo ugotovili statistično značilno napovedno vrednost samo za eno spremenljivko, ocenjujemo, da na podlagi naše raziskave ni mogoče dati priporočil za nadaljnjo uporabo absolutnih ali relativnih spremenljivk za ocenjevanje tehnične izvedbe enonožnega CMJ. V prihodnje so potrebne dodatne raziskave, ki bodo potrdile rezultate naše študije.

Raziskava je imela nekaj omejitev, na katere je treba opozoriti. Menimo, da je na pridobljene rezultate lahko negativno vplivala variabilnost uporabljenega metodičnega postopka za obdelavo kinematičnih spremenljivk, ki lahko izhaja iz I) postavljanja markerjev, II) ocene ključnega položaja analize (ocenjena najnižja amplituda markerja na velikem trohantru) in III) dejanske variabilnosti v izvedbi gibalne naloge. Variabilnost skokov je dejavnik, ki otežuje statistično analizo, kajti večja je variabilnost posamezne spremenljivke, manjša je možnost, da bo statistično pojasnjevala višino skoka. Dodatna pomanjkljivost raziskave je lahko tudi določitev dominantnosti noge. Razlike med nogama in vse nadaljnje analize so bile izvedene na podlagi določitve dominantne noge po kriteriju višine skoka. Rezultati analiz bi lahko bili drugačni, če bi bile izvedene z delitvijo nog na preferenčno in nepreferenčno odzivno – kar bi bilo bolj v skladu s pogostostjo izvedbe skokov v rokometni igri pri rokometasih. Na podlagi omejitev naše raziskave bi bilo smiselno raziskave v prihodnosti usmeriti v optimizacijo postopka meritev in obdelave rezultatov. Prav tako bi bilo poleg kinematičnih spremenljivk, s katerimi ocenjujemo tehnično izvedbo gibanja, v regresijski model smiselno vključiti še spremenljivke moči nog in trupa ter tako preveriti skupno napovedno vrednost za višino enonožnega CMJ.

Zaključek

Glavni ugotovitvi naše raziskave sta, da se višina CMJ statistično razlikuje med dominantno in nedominantno nogo ter da lahko samo s spremenljivko *naklon stegna v čelni ravnini* statistično značilno napovemo rezultat višine enonožnega CMJ z dominantno nogo. Izsledki predhodnih raziskav kažejo, da je večji naklon stegna v čelni ravnini dejavnik tveganja za nastanek poškodb spodnjih ekstremitet. Na novo pridobljeni rezultati iz naše raziskave pa dodatno prikazujejo, da je omejevanje velikosti naklona

stegna pri izvedbi odziva lahko pozitivno z vidika višine CMJ. Za izboljšanje uspešnosti enonožnih CMJ bi zato v prihodnje svetovali vadbo tehnične izvedbe s poudarkom na odpravljanju dinamičnega valgusa kolena v fazi odziva ter razvoju maksimalne in hitre moči mišic kolka, ki sta predpogoja za zmožnost ohranjanja stabilnosti medenice in preprečevanja naklona stegna v ključnih trenutkih odziva.

Literatura

1. Aragón-Vargas, L. F. in Gross, M. M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: Differences among individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 24–44. <https://doi.org/10.1123/jab.13.1.24>
2. Bishop, C., Read, P., Chavda, S. in Turner, A. (2016). Asymmetries of the lower limb: The calculation conundrum in strength training and conditioning. *Strength and Conditioning Journal*, 38(6), 27–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000264>
3. Bobbert, M. (2002). The effect of coordination on vertical jumping performance. *Institute for Fundamental and Clinical Human Movement Sciences*, 355–361. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)
4. Bobbert, M. in Van Ingen Schenau, G. J. (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)
5. Cardinale, M. (2014). Strength training in Handball. *Aspetar Sports Medicine Journal*, 3, 130–134.
6. Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., ... Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.JSAMS.2016.08.011>
7. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (Revised, 2nd ed.). New York, NY: Routledge Academic. <https://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>
8. Cormack, S. J., Newton, R. U., McGulgan, M. R. in Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 131–144. <https://doi.org/10.1123/IJSP.3.2.131>
9. García-Sánchez, C., Navarro, R. M., Karcher, C. in de la Rubia, A. (2023). Physical demands during official competitions in elite handball: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 3353. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043353>

10. González-Ravé, J. M., Juárez, D., Rubio-Arias, J. A., Clemente-Suarez, V. J., Martínez-Valencia, M. A. in Abian-Vicen, J. (2014). Isokinetic leg strength and power in elite handball players. *Journal of Human Kinetics*, 41(1), 227–233. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0050>
11. Fort-Vanmeerhaeghe, A., Milà-Villaruel, R., Pujol-Marzo, M., Arboix-Alió, J. in Bishop, C. (2022). Higher vertical jumping asymmetries and lower physical performance are indicators of increased injury incidence in youth team-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(8), 2204–2211. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003828>
12. Fry, A. C. in Kraemer, W. J. (1991). Physical performance characteristics of American collegiate football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 5, 126–138.
13. Godinho, I., Pinheiro, B. N., Scipião Júnior, L. D. G., Lucas, G. C., Cavalcante, J. F., Monteiro, G. M. in Uchoa, P. A. G. (2019). Effect of reduced ankle mobility on jumping performance in young athletes. *Motricidade*, 15(2–3), 46–51. <https://doi.org/10.6063/motricidade.12869>
14. Graber, K. A., Loverro, K. L., Baldwin, M., Nelson-Wong, E., Tanor, J. in Lewis, C. L. (2021). Hip and trunk muscle activity and mechanics during walking with and without unilateral weight. *Journal of Applied Biomechanics*, 37(4), 351. <https://doi.org/10.1123/JAB.2020-0273>
15. Havolli, J., Bahtiri, A., Kambič, T., Idrizović, K., Bjelica, D. in Pori, P. (2020). Anthropometric characteristics, maximal isokinetic strength and selected handball power indicators are specific to playing positions in elite Kosovan handball players. *Applied Sciences*, 10(19).
16. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M. in Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
17. Koo, T. K. in Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155. <https://doi.org/10.1016/J.JCM.2016.02.012>
18. Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
19. López-Valenciano, A., Ruiz-Pérez, I., García-Gómez, A., Vera-García, F. J., De Ste Croix, M., Myer, G. D. in Ayala, F. (2020). Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 54(12), 711–718. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099577>
20. Madruga-Parera, M., Bishop, C., Beato, M., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Gonzalo-Skok, O. in Romero-Rodríguez, D. (2021). Relationship between interlimb asymmetries and speed and change of direction speed in youth handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(12), 3482–3490. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003328>
21. Madruga-Parera, M., Bishop, C., Read, P., Lake, J., Brazier, J. in Romero-Rodríguez, D. (2020). Jumping-based asymmetries are negatively associated with jump, change of direction, and repeated sprint performance, but not linear speed, in adolescent handball athletes. *Journal of Human Kinetics*, 71(1), 47–58. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0095>
22. Martinc, D. (2018). Vpliv unilateralnega treniranja na eksplozivno moč mladih. [Master's thesis, University of Ljubljana, Faculty of Sport]. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=99780>
23. McErlain-Naylor, S., King, M. in Pain, M. T. (2014). Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 32(19), 1805–1812. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.924055>
24. McLean, S. G., Huang, X. in van den Bogert, A. J. (2005). Association between lower extremity posture at contact and peak knee valgus moment during sidestepping: Implications for ACL injury. *Clinical Biomechanics*, 20(8), 863–870. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.05.007>
25. Puig-Diví, A., Escalona-Marfil, C. I., Maria Padullés-Riu, J., Busquets, A., Padullés-Chando, X. in Marcos-Ruiz, D. (2019). Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLoS One*, 14(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216448>
26. Vadász, K., Varga, M., Sebesi, B., Hortobágyi, T., Murlasits, Z., Atlasz, T., ... Váczi, M. (2022). Frontal plane neurokinematic mechanisms stabilizing the knee and the pelvis during unilateral countermovement jump in young trained males. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 220. <https://doi.org/10.3390/IJERPH20010220>
27. Wilczyński, B., Zorena, K. in Ślęzak, D. (2020). Dynamic knee valgus in single-leg movement tasks: Potentially modifiable factors and exercise training options. A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>

Tim Vončina, mag. kinez.
Zdravstveni dom Ljubljana
tim.vonc@gmail.com