



Mojca Fink,
Matic Sašek, Darjan Smajla

Povezave med jakostjo mišic spodnjih okončin in hitrostjo pri linearnih in zavutih sprintih

Izvleček

Cilj raziskave je bil preučiti povezave med izometrično jakostjo izbranih mišičnih skupin ter hitrostjo pri linearnih in zavutih sprintih. V raziskavi je sodelovalo 18 preiskovancev, od tega 12 moških ($24,8 \pm 4,7$ leta) in 6 žensk ($20 \pm 1,3$ leta). Ob prvem obisku so izvedli meritve linearnih in zavutih sprintov, ob drugem pa meritve jakosti iztegovalk in upogibalk kolena ter odmikalk in primikalk kolka. Stopnjo povezanosti med jakostjo spodnjih okončin in hitrostjo smo preverili s Pearsonovim koeficientom korelacije. Linearno regresijo smo izvedli z namenom napovedovanja največje dosežene hitrosti pri linearnih in zavutih sprintih na podlagi jakostnih spremenljivk. Ugotovili smo statistično značilno srednjo do visoko stopnjo povezanosti med jakostjo upogibalk in iztegovalk kolena ter primikalk kolka z največjo hitrostjo pri linearnih in zavutih sprintih ($r = 0,57-0,76$). Jakost odmikalk kolka je bila značilno povezana samo s hitrostjo pri zavutih sprintih. Izbrane spremenljivke izometrične mišične jakosti so pojasnile 79,3 % variance največje hitrosti linearnega sprinta (jakost iztegovalk kolena desne noge, primikalk kolka leve noge in ekscentrična jakost upogibalk kolena desne noge). Jakost primikalk kolka in upogibalk kolena desne noge sta pojasnili 68,7 % variance največje hitrosti zavitega sprinta v levo in 68,0 % variance največje hitrosti zavitega sprinta v desno. V splošnem lahko povzamemo, da jakost izbranih mišic spodnjih okončin kaže povezave z boljšimi časi in največjo razvito hitrostjo med sprinti.

Ključne besede: linearni sprint, zaviti sprint, mišična jakost, hitrost



Associations between the isometric strength of selected muscle groups and the speed of linear and curvilinear sprints

Abstract

The study was designed to investigate the associations between the isometric strength of selected muscle groups and the speed of linear and curvilinear sprints. Eighteen subjects (12 males (mean age: $24,8 \pm 4,7$ years) and 6 females (mean age: $20 \pm 1,3$ let)) participated in the study. Subjects performed linear and curvilinear sprints at the first visit and strength measurements at the second visit (knee extensors and flexors strength, hip adductors and abductors strength). The relationship between lower limb strength and maximum sprint speed was assessed using Pearson's correlation coefficient. Linear regression was performed to predict maximum speed in both linear and curvilinear sprints based on the strength variables. Knee flexors and extensors strength and hip adductors strength were in significant moderate to high correlation with the maximum speed of linear and curvilinear sprints ($r = 0,57 - 0,76$), while hip abductors strength were correlated just with maximum speed of curvilinear sprints. Selected isometric muscle strength variables explained 79,3 % of the variance in the maximum speed of linear sprint (right leg knee extensors, left leg hip adductors and right leg eccentric knee flexor strength). Right leg hip adductors and knee flexors strength explained 68,7 % of the variance in the maximum speed of the left curvilinear sprint and 68,0 % of the variance in the maximum speed of the right curvilinear sprint. In general, high lower limb muscle strength shows correlations with better sprint times and higher developed speed during sprints.

Keywords: linear sprint, curvilinear sprint, muscle strength, speed

Uvod

Sprint je večdimenzionalna veščina, ki vključuje start, pospeševanje, doseganje in ohranjanje največje hitrosti ter upočasnevanje (Delecluse, Van Coppenolle, Diels in Goris, 1992; Johnson in Buckley, 2001; Mero, Komi in Gregor, 1992; Schot in Knutzen, 1992). Sprinti se lahko izvajajo na različne načine in pri športno specifičnih akcijah niso nujno linearni, ampak lahko vključujejo tudi nelinearno gibanje in spremembo smeri.

V ekipnih športih, kot je nogomet, imata ključno vlogo tako sprintersko pospeševanje kot doseganje velikih hitrosti (Caldbeck in Dos'Santos, 2022). Dinamika nogometne igre je odvisna predvsem od različnih oblik teka, ki predstavljajo večino aktivnosti v igri (Elsner, 2014). Analize kažejo, da hitrost in količina teka naraščata s kakovostjo nogometne igre (Gualtieri idr., 2023). Največje izmerjene hitrosti sprinta med nogometno igro se gibljejo med 31 in 32 km/h, pri čemer nogometaši med tekmo izvedejo od 17 do 81 sprintov, ti pa trajajo v povprečju od 2 do 4 sekunde (Egesoy, 2022). V moštvenih športih se poleg linearnih sprintov pojavljajo tudi sprinti s spremembo smeri (Reilly, 1997). V nogometu naj bi okoli 85 % sprinterskih akcij predstavljali zaviti sprinti (angl. *curvilinear sprints*) (Caldbeck in Dos'Santos, 2022). V zadnjem obdobju se zato za vrednotenje športno specifične hitrosti v nogometu in drugih ekipnih športih vse pogostejše uporabljajo novi testi, ki merijo sposobnost sprinterskega pospeševanja in doseganja največje hitrosti med zavitimi sprinti (Filter idr., 2020).

Med sprintom po loku krožnice (v *nadaljevanju*: *zaviti sprinti*) mora športnik pospeševati v smeri loka krivine, kar zahteva prilagoditev tehnike sprinta, s tem pa se zmanjša končna hitrost (Caldbeck, 2020). Pri tem športnik ustvarja radialno (ali centripetalno) silo (Churchill idr., 2016; Filter idr., 2020). Da bi to učinkovito izvedel, mora med zavitim sprintom telo nagniti proti središču polmera krivine, kar vodi do nesorazmerne aktivacije mišic ter različne postavitve zunanje in notranje noge (Jones in Dos'Santos, 2023). Največje nesorazmerje pri zavitih sprintih se kaže v trajanju stika s podlago, ki je pri notranji nogi daljši kot pri zunanji (Filter idr., 2020). Med zavitim sprintom se dolžina in frekvenca korakov notranje noge značilno skrajšata (Caldbeck, 2020), saj mora ta v kratkem času proizvesti veliko silo v smeri proti središču kroženja in hkrati zavijati pod velikim kotom (Churchill,

Trewartha, Bezodis in Salo, 2016). Z večanjem polmera kroga se zmanjšuje obseg primika kolka notranje noge in obseg odmika zunanje noge, ter obrnjeno (Filter idr., 2020). Spremeni se tudi delež aktivacije posameznih mišičnih skupin. Med fazo opore notranje noge se poveča aktivnost mišic primikalk (PK) in notranjih rotatorjev kolka. Obratno se med fazo opore zunanje noge poveča aktivnost odmikalk (OK) in zunanjih rotatorjev kolka (Churchill idr., 2016; Filter idr., 2020; Judson idr., 2020).

Med pomembnimi mišičnimi dejavniki zmogljivosti pri sprintu je mišična jakost. Različne študije zaradi različnih metod merjenja kažejo nasprotujoče si rezultate. McKinlay idr. (2017) navajajo, da je izometrična jakost iztegovalk kolena (IK) pozitivno povezana s sposobnostjo izvedbe eksplozivnih gibanj (skok z nasprotnim gibanjem, skok iz počepa, globinski skok), medtem ko Requena idr. (2009) v svoji raziskavi niso zasledili značilne povezanosti med izometrično jakostjo IK in časom sprinta na 15 metrov. Alexander (1989) je ugotovil statistično značilno negativno povezavo med izokinetično jakostjo IK pri veliki kotni hitrosti in časom sprinta na 100 metrov. Ker pa med sprintom prihaja tudi do ekscentričnega krčenja upogibalk kolena (UK), nekatere študije kažejo zelo visoko pozitivno povezanost med ekscentrično jakostjo UK in hitrostjo sprinta na 30 metrov (Coratella idr., 2018). To potrjujejo tudi Marković idr. (2020), ki so ugotovili negativno povezanost med največjo ekscentrično jakostjo pri izvajanju nordijskega spusta in časom sprinta. Po drugi strani pa Suarez-Arrones idr. (2019) v svoji raziskavi niso ugotovili povezave med ekscentrično jakostjo zadnjih stegenskih mišic in časom linearnega sprinta na 20 metrov. Poleg jakosti mišičnih skupin, ki so odgovorne za večino propulzije sprinta v bočni ravnini (IK, UK in iztegovalke kolka), imajo pomembno vlogo tudi mišice, ki delujejo v čelni ravnini in skrbijo za stabilnost med gibanjem (PK in OK). Ta je ključna za učinkovito absorpcijo sil med prvim stikom s podlago in prenosom sil od proksimalnih do distalnih delov telesa ter propulzijo v fazi odriva od podlage. Krolikowska idr. (2023) navajajo, da izometrična jakost PK in OK ne kaže povezav z izvedbo linearnih sprintov, vendar bi lahko imela pomembno vlogo pri zavitih sprintih, saj je pri teh treba proizvajati večje sile v mediolateralni smeri. Zaradi pomanjkanja raziskav, ki bi proučevale povezanost med jakostjo mišic spodnjih okončin in zmogljivostjo pri zavitih sprintih, ter nasprotujočih

si rezultatov ob primerjavi z zmogljivostjo pri linearnih in zavitih sprintih smo v raziskavi proučevali povezanost med temi spremenljivkami. Cilj raziskave je bil ugotoviti povezave med jakostjo izbranih mišičnih skupin ter sprintersko zmogljivostjo pri linearnih in zavitih sprintih. Pričakovali smo (1) visoko pozitivno povezanost med največjo jakostjo IK in UK ter hitrostjo linearnih in zavitih sprintov; (2) visoko povezanost med največjo jakostjo OK in PK ter hitrostjo linearnih in zavitih sprintov ter (3) pozitivne, zmerne do visoke povezave med največjo ekscentrično jakostjo zadnjih stegenskih mišic ter hitrostjo linearnih in zavitih sprintov.

Metode

Vzorec preiskovancev

V raziskavi je sodelovalo 18 preiskovancev, od tega 12 moških (povprečna starost: $24,8 \pm 4,7$ leta; povprečna višina: $182,1 \pm 5,9$ cm; povprečna teža: $80 \pm 6,6$ kg) in 6 žensk (povprečna starost: $20 \pm 1,3$ leta; povprečna višina: $160,2 \pm 2$ cm; povprečna teža: $55,3 \pm 2,9$ kg). Preiskovanci so bili zdravi posamezniki brez nedavnih poškodb ali kroničnih bolezni, ki bi lahko vplivale na rezultate. Vsi so bili seznanjeni s postopki meritve in so pred začetkom podpisali soglasje za sodelovanje v raziskavi. Raziskavo je odobril KER UP (Komisija Univerze na Primorskem za etiko v raziskavah, ki vključujejo delo z ljudmi) in je bila izvedena v skladu z določili Helsinške deklaracije.

Merilni postopek

Izvedli smo prečno-presečno študijo z dvema obiskoma. Pri prvem so preiskovanci izvedli 40-metrsko linearne (LS) ter zavite sprinte v levo (ZSL) in desno stran (ZSD). Pri drugem obisku so izvedli teste izometrične jakosti IK in UK, OK in PK ter ekscentrične jakosti upogibalk kolena na dinamometrih.

Meritve sprintov

Meritve sprintov smo izvajali na nogometnem igrišču z umetno travo, vsi preiskovanci so nosili nogometne čevlje. Po ustni seznanitvi z merilnim postopkom je sledilo splošno ogrevanje, sestavljeno iz aerobnega dela (5-minutni tek), dinamičnih razteznih in krepilnih vaj (skelece, počepi, dvig bokov leže) ter atletske abecede. Nato so izvedli specifično ogrevanje, sestavljeno iz treh submaksimalnih 40-metrskih sprintov po subjektivni presoji preiskovancev. Meritve časov sprintov smo izvedli z uporabo 9



Slika 1. Prikaz preiskovanca med izvajanjem zavitega sprintsa

parov fotocelic (Brower, TCI-System B13283, Utah, ZDA), postavljenih na vsakih 5 metrov v skupni dolžini 40 metrov. ZSL in ZSD so preiskovanci izvedli na osrednjem krogu nogometnega igrišča s polmerom 9,15 metra. Start je bil pri vseh načinih sprintsa izveden enako, iz stoječega položaja in brez znaka za začetek. Da bi se izognili prehitremu proženju fotocelic, so preiskovanci startni položaj zavzeli tako, da so prednjo nogo postavili na označeno mesto (0,5 metra) pred prvim parom fotocelic. Vsak preiskovanec je v naključnem vrstnem redu izvedel 3 LS, 3 ZSD in 3 ZSL. Zmogljivost pri sprintu smo merili iz sprintov z najhitrejšimi časi na 40 metrov. Kot kazalnike sprinterske zmogljivosti v zgodnji in pozni fazi pospeševanja smo izračunali vmesne čase sprintsa na 10 metrov (LS_{10m} , ZSL_{10m} , ZSD_{10m}) in 30 metrov (LS_{30m} , ZSL_{30m} , ZSD_{30m}). Iz vmesnih časov na 5 metrov smo s programsko opremo R ter kodo Jovanovića in Vescovija (2022) izračunali največjo hitrost (LS_{maxhit} , ZSL_{maxhit} , ZSD_{maxhit}), največji pospešek (LS_{maxpos} , ZSL_{maxpos} , ZSD_{maxpos}) in največjo moč ($LS_{maxmoč}$, $ZSL_{maxmoč}$, $ZSD_{maxmoč}$) (Zabaloj idr., 2024).

Meritve jakosti

Pred merilnim protokolom je bilo izvedeno ogrevanje, sestavljeno iz aerobnega dela (4 minute stopanja na 25 cm visoko škatlo) ter dinamičnih raztezni in krepih vaj (počepi, dvigi na prste, dvig bokov leže, iztegi kolka v opori klečno spredaj, primiki in odmiki kolka). Jakost UK in IK smo vrednotili unilateralno z namenskim kolenskim dinamometrom (S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana, Slovenija). Preiskovanci so meri-

tve izvajali v sedečem položaju s kotom v kolku 90° in v kolenu 60° . Os kolena merjene noge je bila poravnana z osjo dinamometra, zgornja opora je bila pritrjena nad kolenom, spodnja pa nad gležnjem (Slika 2). Preiskovanca smo dodatno stabilizirali s pasom prek medenice (Šarabon idr., 2013). Naloga preiskovanja je bila, da z največjo silo potisne golenico proti spodnji opori in proizvedeno silo zadrži od 3 do 5 sekund. Za vsak gib in za vsako nogo so bile oprave



Slika 2. Prikaz postavitve preiskovanca ter naprave med izvajanjem meritev jakosti upogibalk in iztegovalk kolena

vljene tri veljavne ponovitve. Med ponovitvami so imeli posamezniki 30 sekund odmora. Za nadaljnjo analizo jakosti UK in IK smo uporabili največji izmerjeni navor pri iztegu in upogibu kolena [Nm].

Izometrično jakost OK in PK smo vrednotili bilateralno z dinamometrom za kolk – MuscleBoard® (S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana, Slovenija). Preiskovanci so meritve izvajali sede z rokami, položenimi na tla za hrbtom. Nogi sta bili na dinamometer pritrjeni z oporo nad gležnjem. Preiskovanci so opravili največje hotene izometrične odmike in primike kolka. Naloga preiskovanja je bila, da z največjo silo potisne golenico proti opori in proizvedeno silo zadrži od 3 do 5 sekund. Za vsak gib so bile opravljene tri veljavne ponovitve z vmesnim 30-sekundnim odmorom. Za nadaljnjo analizo jakosti OK in PK smo uporabili največji izmerjeni navor pri odmiku in primiku kolka [Nm].

Ekscentrično jakost zadnjih stegenskih mišic smo vrednotili unilateralno med izvedbo vaje nordijski spust z dinamometrom za kolk – MuscleBoard® (S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana, Slovenija). Preiskovanci so bili nameščeni v položaj kleče (začetni položaj, vertikalno poravnana linija glava-trup-stegno) z rokami ob telesu, pokrčenimi v komolcih in z dlanmi pred prsmi. Preiskovanec je bil na dinamometer pritrjen na spodnjem zadnjem delu goleni. Naloga preiskovanja je bila, da se iz začetnega položaja kontrolirano in tekoče spusti proti tlu (trajanje ekscentrične kontrakcije od 3 do 5 sekund). Preiskovanci so izvedli tri ponovitve z vmesnim enominutnim odmorom. Za nadaljnjo analizo ekscentrične jakosti UK smo uporabili največji izmerjeni navor med izvedbo ene ponovitve [Nm].

Metode obdelave podatkov

Analizo podatkov smo opravili s programsko opremo IBM SPSS Statistics 27.0 (IBM, Armonk, New York, ZDA). Za vse spremenljivke smo izračunali osnovno opisno statistiko. Z uporabo koeficientov asimetričnosti in sploščenosti smo preverili normalnost porazdelitve. Za preverjanje statistično značilne povezave med spremenljivkami smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient. Statistična značilnost je bila določena ob stopnji zaupanja $p < 0,05$, korelacijski koeficienti so bili kvalitativno interpretirani po naslednji lestvici: 0,00–0,19 trivialna korelacija; 0,20–0,29 nizka; 0,30–0,49 zmerna; 0,50–0,69 visoka; 0,70–0,89 zelo visoka; 0,90–0,99 skoraj popolna; 1,00 popolna

(Hopkins idr., 2009). Nato smo izvedli stopnjsko linearno regresijo za pojasnjevanje deleža variance sprinterske zmogljivosti (odvisne spremenljivke) s spremenljivkami največje izometrične jakosti (neodvisne spremenljivke). Statistična značilnost je bila določena pri stopnji zaupanja $\alpha < 0,05$.

Rezultati

Povezave največje izometrične jakosti mišic spodnjih okončin in različnih spremenljivk sprintov

Tabela 1 prikazuje velikosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta (r) med spremenljivkami največje izometrične jakosti mišic spodnjih okončin in zmogljivostjo ter kinetičnimi značilnostmi linearnega sprinta. Najvišje povezave se kažejo med jakostjo IK ter LS_{30m} (IK_{leva} : $r = -0,61$; $p < 0,01$; IK_{desna} : $r = -0,61$; $p < 0,01$). Za največjo hitrost se kažejo najvišje povezave z jakostjo IK_{desna} ($r = 0,76$; $p < 0,01$), UK_{leva} ($r = 0,74$; $p < 0,01$) in PK_{desna} ($r = 0,75$; $p < 0,01$). Za največji pospešek in največjo moč, razvito pri sprintu, ni bilo statistično značilnih povezav z jakostnimi spremenljivkami ($p > 0,05$) (Tabela 1).

Tabela 2 prikazuje velikosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta (r) med spremenljivkami največje izometrične jakosti mišic spodnjih okončin in zmogljivostjo ter kinetičnimi značilnostmi zavitega sprinta. Najvišje povezave se kažejo med jakostjo PK_{desna} in ZSL_{30m} ($r = -0,75$; $p < 0,01$) ter ZSL_{maxhit} ($r = 0,75$; $p < 0,01$). Srednjo stopnjo povezanosti smo izračunali tudi med jakostjo OK in PK ter ZSL_{10m} in ZSD_{10m} . Jakost OK_{leva} kaže najvišje povezave z rezultati ZSD_{30m} ($r = -0,61$; $p < 0,01$) in ZSD_{maxhit} ($r = 0,54$; $p < 0,01$). Za največji pospešek in največjo moč, razvito pri ZSL, ni bilo statistično značilnih povezav z jakostnimi spremenljivkami. Za največji pospešek tudi pri ZSD ni bilo statistično značilnih povezav z jakostnimi spremenljivkami, medtem ko se za $ZSD_{maxmoč}$ kažejo statistično značilne povezave z IK_{leva} , UK_{leva} in OK_{desna} (Tabela 2).

Regresijska analiza

Tabela 3 prikazuje rezultate linearne regresijske analize odvisnih in neodvisnih spremenljivk. Predstavljeni so odstotki pojasnjene variance jakostnih spremenljivk za izbrane spremenljivke sprinta. Izbrani jakostni parametri mišične jakosti (IK_{desna} , PK_{leva} in NS_{desna}) pojasnijo 79,3 % variance LS_{maxhit} . Jakost PK_{desna} in UK_{desna} skupaj pojasnita 68,7 % variance ZSL_{maxhit} . Jakost PK_{desna} in UK_{desna} skupaj pojasnita 68,0 % variance ZSD_{maxhit} .

Tabela 1

Povezave med jakostjo mišic spodnjih okončin in zmogljivostjo ter kinetičnimi značilnostmi linearnega sprinta

	LS_{10m}	LS_{30m}	LS_{maxhit}	LS_{maxpos}	$LS_{maxmoč}$
IK_{leva}	0,22	-0,61**	0,71**	-0,26	0,12
IK_{desna}	-0,19	-0,61**	0,76**	-0,36	0,04
UK_{leva}	-0,26	-0,64**	0,74**	-0,22	0,16
UK_{desna}	-0,35	-0,67**	0,71**	-0,07	0,30
NS_{leva}	-0,41	-0,64**	0,7**	-0,09	0,27
NS_{desna}	-0,49*	-0,65**	0,63**	0,04	0,36
OK_{leva}	-0,31	-0,38	0,35	0,03	0,23
OK_{desna}	-0,37	-0,44	0,40	0,07	0,29
PK_{leva}	-0,43	-0,67**	0,72**	-0,06	0,31
PK_{desna}	-0,44	-0,69**	0,75**	-0,11	0,28

Opomba. * = statistično značilna povezava pri stopnji zaupanja $p < 0,05$; ** = statistično značilna povezava pri stopnji zaupanja $p < 0,01$; IK_{leva} = izteg kolena leve noge (največja jakost); IK_{desna} = izteg kolena desne noge (največja jakost); UK_{leva} = upogib kolena leve noge (največja jakost); UK_{desna} = upogib kolena desne noge (največja jakost); NS_{leva} = nordijski spust leve noge (največja jakost); NS_{desna} = nordijski spust desne noge (največja jakost); OK_{leva} = odmik kolka lečja jakost); OK_{desna} = odmik kolka desne noge (največja jakost); PK_{leva} = primik kolka leve noge (največja jakost); PK_{desna} = primik kolka desne noge (največja jakost); LS_{10m} = čas linearnega sprinta na 10 m; LS_{30m} = čas linearnega sprinta na 30 m; LS_{maxhit} = največja hitrost linearnega sprinta na 40 m; LS_{maxpos} = največji pospešek linearnega sprinta na 40 m; $LS_{maxmoč}$ = največja moč linearnega sprinta na 40 m.

Tabela 2

Povezave med jakostjo mišic spodnjih okončin in zmogljivostjo ter kinetičnimi značilnostmi zavitega sprinta

	ZSL_{10m}	ZSD_{10m}	ZSL_{30m}	ZSD_{30m}	ZSL_{maxhit}	ZSD_{maxhit}	ZSL_{maxpos}	ZSD_{maxpos}	$ZSL_{maxmoč}$	$ZSD_{maxmoč}$
IK_{leva}	-0,35	-0,59*	-0,62**	-0,63**	0,64**	0,60**	-0,13	0,34	0,11	0,57*
IK_{desna}	-0,22	-0,41	-0,55*	-0,55*	0,63**	0,57*	-0,24	0,09	-0,01	0,33
UK_{leva}	-0,34	-0,63**	-0,63**	-0,67**	0,66**	0,66**	-0,14	0,27	0,11	0,54*
UK_{desna}	-0,37	-0,59*	-0,68**	-0,68**	0,70**	0,69**	-0,11	0,09	0,15	0,38
NS_{leva}	-0,356	-0,65**	-0,62**	-0,69**	0,67**	0,68**	-0,20	0,18	0,07	0,45
NS_{desna}	-0,45	-0,70**	-0,64**	-0,68**	0,623**	0,65**	-0,03	0,19	0,23	0,44
OK_{leva}	-0,58*	-0,52*	-0,67**	-0,61**	0,54*	0,54*	0,06	0,30	0,32	0,52
OK_{desna}	-0,64**	-0,53*	-0,71**	-0,64**	0,57*	0,59*	0,11	0,24	0,38	0,49*
PK_{leva}	-0,49*	-0,53*	-0,68**	-0,65**	0,69**	0,65**	-0,09	0,17	0,20	0,45
PK_{desna}	-0,52*	-0,61**	-0,75**	-0,75**	0,75**	0,75**	-0,13	0,14	0,20	0,46

Opomba. * = statistično značilna povezava pri stopnji zaupanja $p < 0,05$; ** = statistično značilna povezava pri stopnji zaupanja $p < 0,01$; IK_{leva} = izteg kolena leve noge (največja jakost); IK_{desna} = izteg kolena desne noge (največja jakost); UK_{leva} = upogib kolena leve noge (največja jakost); UK_{desna} = upogib kolena desne noge (največja jakost); NS_{leva} = nordijski spust leve noge (največja jakost); NS_{desna} = nordijski spust desne noge (največja jakost); OK_{leva} = odmik kolka leve noge (največja jakost); OK_{desna} = odmik kolka desne noge (največja jakost); PK_{leva} = primik kolka leve noge (največja jakost); PK_{desna} = primik kolka desne noge (največja jakost); ZSL_{10m} = čas zavitega sprinta v levo na 10 m; ZSL_{30m} = čas zavitega sprinta v levo na 30 m; ZSL_{maxhit} = največja hitrost zavitega sprinta v levo na 40 m; ZSL_{maxpos} = največji pospešek zavitega sprinta v levo na 40 m; $ZSL_{maxmoč}$ = največja moč zavitega sprinta v levo na 40 m; ZSD_{10m} = čas zavitega sprinta v desno na 10 m; ZSD_{30m} = zavitega sprinta v desno na 30 m; ZSD_{maxhit} = največja hitrost zavitega sprinta v desno na 40 m; ZSD_{maxpos} = največji pospešek zavitega sprinta v desno na 40 m; $ZSD_{maxmoč}$ = največja moč zavitega sprinta v desno na 40 m.

Tabela 3
Rezultati linearne regresijske analize odvisnih in neodvisnih spremenljivk

95-% interval zaupanja					
	Koeficient	I _Z spodnja meja	I _Z zgornja meja	p	% variance
LS10m					
NS _{desna}	-0,174	-1,324	0,976	0,037	24,5
LS30m					
PK _{desna}	0,600	-0,738	1,939	0,026	60,8
UK _{desna}	0,057	-0,618	0,733	0,046	
LSmaxhit					
IK _{desna}	0,354	0,096	0,613	0,011	79,3
PK _{leva}	0,436	0,029	0,820	0,029	
NS _{desna}	0,779	0,036	1,498	0,036	
ZSL10m					
OK _{desna}	-0,195	-0,320	-0,070	0,004	40,6
ZSL30m					
PK _{desna}	-0,218	-0,471	0,035	0,086	76,0
UK _{desna}	-0,315	-0,603	-0,027	0,034	
OK _{desna}	-0,292	-0,572	-0,011	0,043	
ZSLmaxhit					
PK _{desna}	0,577	0,180	0,975	0,007	68,7
UK _{desna}	0,601	0,073	1,129	0,028	
ZSD10m					
NS _{desna}	-0,229	-0,354	-0,105	-0,001	64,8
OK _{desna}	-0,105	-0,191	-0,019	0,020	
ZSD30m					
PK _{desna}	-0,215	-0,513	0,083	0,144	76,2
NS _{desna}	-0,576	-1,002	-0,150	0,012	
OK _{desna}	-0,325	-0,640	-0,009	0,045	
ZSDmaxhit					
PK _{desna}	0,588	0,182	0,994	0,008	68,0
UK _{desna}	0,594	0,054	1,133	0,033	

Opomba. p = stopnja zaupanja; IK_{leva} = izteg kolena leve noge (največja jakost); IK_{desna} = izteg kolena desne noge (največja jakost); UK_{leva} = upogib kolena leve noge (največja jakost); UK_{desna} = upogib kolena desne noge (največja jakost); NS_{leva} = nordijski spust – ekscentrična jakost zadnjih stegenskih mišic leve noge (največja jakost); NS_{desna} = nordijski spust – ekscentrična jakost zadnjih stegenskih mišic desne noge (največja jakost); OK_{leva} = odmik kolka leve noge (največja jakost); OK_{desna} = odmik kolka desne noge (največja jakost); PK_{leva} = primik kolka leve noge (največja jakost); PK_{desna} = primik kolka desne noge (največja jakost); LS_{10m} = linearni sprint – vmesni čas na 10 m; LS_{30m} = linearni sprint – vmesni čas na 30 m; LS_{maxhit} = največja hitrost linearnega sprinta na 40 m; LS_{maxpos} = največji pospešek linearnega sprinta na 40 m; LS_{maxmoč} = največja moč linearnega sprinta na 40 m; ZSL_{10m} = zaviti sprint v levo – vmesni čas na 10 m; ZSL_{30m} = zaviti sprint v levo – vmesni čas na 30 m; ZSL_{maxhit} = največja hitrost zavitega sprinta v levo na 40 m; ZSL_{maxpos} = največji pospešek zavitega sprinta v levo na 40 m; ZSL_{maxmoč} = največja moč zavitega sprinta v levo na 40 m; ZSD_{10m} = zaviti sprint v desno – vmesni čas na 10 m; ZSD_{30m} = zaviti sprint v desno – vmesni čas na 30 m; ZSD_{maxhit} = največja hitrost zavitega sprinta v desno na 40 m; ZSD_{maxpos} = največji pospešek zavitega sprinta v desno na 40 m; ZSD_{maxmoč} = največja moč zavitega sprinta v desno na 40 m.

Razprava

Namen raziskave je bil preučiti povezanost med jakostjo mišic spodnjih okončin ter zmogljivostjo pri LS in ZS. Rezultati so

pokazali statistično značilno zmerno negativno stopnjo povezanosti med jakostjo mišic spodnjih okončin (razen OK) in LS_{30m} ter srednjo do visoko pozitivno stopnjo povezanosti z LS_{maxhit}. Po drugi strani pa

se je pokazala statistično značilna srednja do visoka negativna povezanost med jakostjo OK ter ZSL_{30m} in ZSD_{30m} ter srednja pozitivna povezanost z ZSL_{maxhit} in ZSD_{maxhit}. Tudi preostale mišične skupine (IK, UK in PK) kažejo srednjo do visoko negativno stopnjo povezanosti z ZSL_{30m} in ZSD_{30m} ter srednjo do visoko pozitivno stopnjo povezanosti z ZSL_{maxhit} in ZSD_{maxhit}. Za vse jakostne spremenljivke smo pri ZS izračunali nekoliko višje povezave z jakostjo desne noge. Rezultati ekscentrične jakosti zadnjih stegenskih mišic so v srednji do visoki negativni stopnji povezanosti z LS_{30m}, ZSL_{30m} in ZSD_{30m} ter srednji do visoki pozitivni povezanosti z največjo hitrostjo med sprinti.

Glede na dosedanje literaturo smo pri hipotezi 1 pričakovali visoko pozitivno povezanost med jakostjo IK in UK ter največjo hitrostjo LS in ZS (Loturco idr., 2020; Requena idr., 2009), saj sta ti dve mišični skupini pomembni pri ustvarjanju horizontalne sile v sprintu. Na podlagi rezultatov naše raziskovalne naloge smo hipotezo 1 potrdili. Podobne ugotovitve kot v naši študiji, le da so merili izokinetično jakost mišic, v svoji raziskavi navajajo tudi Alexander (1989), ki poroča o statistično značilnih povezavah med jakostjo IK in časom sprinta na 30 metrov, ter Coratella idr. (2018), ki pišejo o statistično značilnih povezavah med jakostjo UK in časom sprinta na 30 metrov. Nasprotno pa Requena idr. (2009), ki so preiskovali izometrično jakost IK, niso ugotovili statistično značilnih povezav med jakostjo in časom sprinta na 15 metrov. Zaradi krajše razdalje v njihovi študiji rezultati niso primerljivi z našimi, saj njihovi merjenji niso razvili največje hitrosti. V literaturi smo zasledili nekaj študij, ki so proučevale povezave med različnimi koncentričnimi, koncentrično-ekscentričnimi ali pliometričnimi gibanji ter hitrostjo sprinta (Loturco idr., 2020; Requena idr., 2009). V teh študijah so proučevali predvsem izvedbo različnih vrst skokov in njihovo povezanost z izvedbo sprinta. Requena idr. (2009) so ugotovili visoke povezave skoka z nasprotnim gibanjem ter skoka iz počepa na hitrost 15-metrskega sprinta. Ugotovili so srednje močno negativno povezanost med skokom z nasprotnim gibanjem in časom sprinta. Prav tako so podobno stopnjo povezanosti ugotovili za skok iz počepa. V raziskavi Loturco idr. (2015) so proučevali dve različni vrsti skokov, in sicer vertikalne in horizontalne skoke. Ugotovili so, da ima trening, ki vključuje vertikalne skoke, večji vpliv na izboljšanje časov sprinta na krajši razdalji,

medtem ko horizontalni skoki pripomorejo k izboljšanju časov pri daljših sprintih.

Na področju proučevanja povezav med jakostjo mišic spodnjih okončin in sprintersko zmogljivostjo pri ZS nismo zasledili literature, s katero bi lahko primerjali naše rezultate. Jakost PK in OK kaže srednjo negativno stopnjo povezanosti z $ZSL_{10m'}$, $ZSD_{10m'}$, $ZSL_{30m'}$ in $ZSD_{30m'}$. Podatki niso presenetljivi, saj ti dve mišični skupini z biomehanskega in živčno-mišičnega vidika pomembno prispevata k izvedbi ZS ter imata ključno vlogo pri ustvarjanju hitrosti in sile (Krolikowska, Golas idr., 2023). Zato smo pri hipotezi 2 predvideli višjo stopnjo povezanosti med jakostjo OK in PK ter največjo hitrostjo ZS. Slednje se je izkazalo za pravilno, vendar lahko hipotezo potrdimo le delno, saj jakost OK kaže statistično značilno srednjo pozitivno stopnjo povezanosti z $ZSL_{maxhit'}$ in $ZSD_{maxhit'}$, medtem ko z $LS_{maxhit'}$ nismo izračunali statistično značilnih povezav ($p > 0,05$). Po drugi strani pa jakost PK kaže visoko pozitivno stopnjo povezanosti z $LS_{maxhit'}$, kar je verjetno odvisno od mišice velike primikalke, ki poleg primika igra vlogo tudi pri iztegu in upogibu kolka (zgornja vlakna sodelujejo pri upogibu, spodnja pa pri iztegu kolka) (Jeno idr., 2024). Jakost OK z zmogljivostjo in kinetičnimi značilnostmi LS pričakovano ne kaže povezanosti, saj pri teku primarno izvajajo samo odmik kolka (ki je pri linearnih sprintih minimalen) in v manjši meri sodelujejo pri upogibu ali iztegu (Howard idr., 2018).

Pri hipotezi 3 smo na podlagi pregledane literature pričakovali povezanost med ekscentrično jakostjo zadnjih stegenskih mišic in hitrostjo LS in ZS. To hipotezo smo v celoti potrdili. Pri sprintih namreč prihaja do ekscentričnega krčenja zadnjih stegenskih mišic, ki imajo ključno vlogo pri ustvarjanju sil v bočni ravnini, to pa neposredno vpliva na hitrost teka (Palastanga in Soames, 2011). Večja ekscentrična jakost te mišične skupine najverjetneje omogoča ustvarjanje večjih sil na podlago in je zato povezana z večjo hitrostjo teka. Čeprav je hitrost teka pri ZS manjša v primerjavi z LS in pomembno vlogo pri njih igrajo tudi PK in OK, se pri obeh vrstah sprinta pokaže srednja do visoka stopnja povezanosti z največjo proizvedeno hitrostjo teka.

Za nobeno od jakostnih spremenljivk nismo ugotovili statistično značilnih povezav z $ZSL_{maxhit'}$, $ZSD_{maxpost'}$ in $LS_{maxpos'}$. Prav tako niti z največjo sprintersko močjo ni bilo opaznih statistično značilnih povezav, z izjemo treh spremenljivk (IK_{desna} in UK_{leva} ter

OK_{desna}), ki pri ZSD kažejo statistično značilno povezanost. Linearna regresijska analiza je pokazala, da izbrane spremenljivke izometrične mišične jakosti pojasnijo 79,3 % variance največje hitrosti pri linearnem sprintu (IK_{desna} , PK_{leva} in NS_{desna}) in približno 68 % variance največje hitrosti pri zavitem sprintu (PK_{desna} in UK_{desna}). Delež pojasnjene variance je presenetljivo velik, saj poleg jakosti izbranih mišičnih skupin k uspešnosti pri sprintu pomembno prispevajo tudi preostale mišične skupine in tehnika teka. Te ugotovitve lahko posplošimo za populacijo amaterskih športnikov, ne pa tudi vrhunskih, saj je bila raziskava izvedena na majhnem in heterogenem vzorcu rekreativcev.

Rezultati naše raziskave prispevajo k boljšemu razumevanju vloge različnih mišičnih skupin spodnjih okončin pri LS in ZS. Ugotovili smo, da imata IK in UK ključno vlogo pri obeh vrstah sprintov. Prav tako PK kažejo statistično značilne povezave z vsemi vrstami sprintov. Iz rezultatov raziskave je razvidno, da se povezave med jakostjo mišičnih skupin in hitrostjo sprintov razlikujejo glede na vrsto sprinta. Pri športih, v katerih so pojavljajo nelinearne sprinterske akcije, je ključno, da med trenažnim procesom ne zanemarimo mišičnih skupin, ki vplivajo na proizvajanje sil v medialno-lateralni smeri gibanja. Poleg UK in IK, ki prispevata k ustvarjanju sile v anteroposteriorni smeri, je pomembno vključiti tudi krepilne vaje za OK in PK. Ti dve mišični skupini sta pomembni tudi kot stabilizatorja medenice, saj skrbita za njeno optimalno postavitev tako v mirni stoji kot med dinamičnimi aktivnostmi, kot je tek (Mansfield in Neumann, 2019).

Poleg omenjenega je pomembno navesti tudi omejitve naše raziskave, predvsem heterogen in razmeroma majhen vzorec preiskovancev ter nespecifičnost izometričnih meritev v primerjavi z velikimi hitrostmi pri sprintu. Naša raziskava je tako lahko dobro izhodišče za nadaljnje raziskave na tem področju, pri čemer bi vključili številnejši in homogen vzorec preiskovancev ter dodali še druge teste, s katerimi bi se približali specifičnim lastnostim sprinta.

Literatura

- Alexander, M. J. (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport*, 14(3), 148–157.
- Caldbeck, P., in DosSantos, T. (2022). A classification of specific movement skills and patterns during sprinting in English

Premier League soccer. *PLOS ONE*, 17(11), e0277326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277326>

- Caldbeck, P. M. (2020). Contextual sprintin in premier league football. *Doktorska disertacija*. Liverpool John Moores University.
- Churchill, S. M., Trewartha, G., Bezodis, I. N., in Salo, A. I. T. (2016). Force production during maximal effort bend sprinting: Theory vs reality. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(10), 1171–1179. <https://doi.org/10.1111/sms.12559>
- Coratella, G., Beato, M., in Schena, F. (2018). Correlation between quadriceps and hamstrings inter-limb strength asymmetry with change of direction and sprint in U21 elite soccer-players. *Human Movement Science*, 59, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.03.016>
- Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Diels, R., in Goris, M. (1992). A model for the scientific preparation of high level sprinters. *New studies in Athletics*, 7(4), 57–64.
- Egesoy, H. (2022). Comparison of Speed, Agility and Reactive Agility Performance in Soccer Players. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 5(Özel Sayı 2), 760–770. <https://doi.org/10.38021/asbid.1200559>
- Elsner, B. (2014). *Nogomet: Trening mladih: Program dolgoročnega načrta procesa trenin-ga mladih in program treningov*. Inštitut za šport, Fakulteta za šport.
- Filter, A., Olivares, J., Santalla, A., Nakamura, F. Y., Loturco, I., in Requena, B. (2020). New curve sprint test for soccer players: Reliability and relationship with linear sprint. *Journal of Sports Sciences*, 38(11–12), 1320–1325. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1677391>
- Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Santalla, A., Morente-Sánchez, J., Robles-Rodríguez, J., Requena, B., in Loturco, I. (2020). Curve Sprinting in Soccer: Kinematic and Neuromuscular Analysis. *International Journal of Sports Medicine*, a-1144-3175. <https://doi.org/10.1055/a-1144-3175>
- Gualtieri, A., Rampinini, E., Dello Iacono, A., in Beato, M. (2023). High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1116293>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., in Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Howard, R. M., Conway, R., in Harrison, A. J. (2018). Muscle activity in sprinting: A review. *Sports Biomechanics*, 17(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1252790>

14. Jeno, S. H., Launico, M. V., in Schindler, G. S. (2024). Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Thigh Adductor Magnus Muscle. V *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534842/>
15. Johnson, M. D., in Buckley, J. G. (2001). Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 19, 263–272. <https://doi.org/10.1080/026404101750158330>
16. Jones A., P., in Dos'Santos, T. (2023). *Multidirectional Speed in Sport*, Routledge.
17. Jovanović, M., in Vescovi, J. (2022). {shorts}: An R Package for Modeling Short Sprints. *International Journal of Strength and Conditioning*, 2(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v2i1.74>
18. Judson, L. J., Churchill, S. M., Barnes, A., Stone, J. A., Brookes, I. G. A., in Wheat, J. (2020). Kinematic modifications of the lower limb during the acceleration phase of bend sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 38(3), 336–342. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1699006>
19. Krolkowska, P., Golas, A., Stastny, P., Kostejn, J., Grzyb, W., in Krszysztofik, M. (2023). Abductor and adductor strength relation to sprint performance in soccer players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 15(3), Article6–Article6. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.15.3.06>
20. Krolkowska, P., Rodak, P., Papla, M., Grzyb, W., in Golas, A. (2023). Analysis of the adductors and abductors' maximum isometric strength on the level of speed and agility in basketball players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 15(1), Article3. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.15.1.03>
21. Loturco, I., Pereira, L. A., Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Reis, V. P., Fernandes, V., Freitas, T. T., in Requena, B. (2020). Curve sprinting in soccer: Relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biology of Sport*, 37(3), 277–283. <https://doi.org/10.5114/biol-sport.2020.96271>
22. Loturco, I., Pereira, L. A., Kopal, R., Zanetti, V., Kitamura, K., Abad, C. C. C., in Nakamura, F. Y. (2015). Transference effect of vertical and horizontal plyometrics on sprint performance of high-level U-20 soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33(20), 2182–2191. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1081394>
23. Mansfield, P. J., in Neumann, D. A. (2019). Chapter 9—Structure and Function of the Hip. V P. J. Mansfield in D. A. Neumann (Ur.), *Essentials of Kinesiology for the Physical Therapist Assistant (Third Edition)* (str. 233–277). Mosby. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54498-6.00009-6>
24. Markovic, G., Sarabon, N., Boban, F., Zoric, I., Jelcic, M., Sos, K., in Scappaticci, M. (2020). Nordic Hamstring Strength of Highly Trained Youth Football Players and Its Relation to Sprint Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(3), 800. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002800>
25. McKinlay, B. J., Wallace, P. J., Dotan, R., Long, D., Tokuno, C., Gabriel, D. A., in Falk, B. (2017). Isometric and dynamic strength and neuromuscular attributes as predictors of vertical jump performance in 11- to 13-year-old male athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(9), 924–930. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0111>
26. Mero, A., Komi, P. V., in Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of Sprint Running: A Review. *Sports Medicine*, 13(6), 376–392. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213060-00002>
27. Palastanga, N., in Soames, R. (2011). *Anatomy and Human Movement, Structure and function with PAGEBURST Access.6: Anatomy and Human Movement*. Elsevier Health Sciences.
28. Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 257–263. <https://doi.org/10.1080/026404197367263>
29. Requena, B., González-Badillo, J. J., Villareal, E. S. S. de, Erelina, J., García, I., Gapeyeva, H., in Pääsuke, M. (2009). Functional Performance, Maximal Strength, and Power Characteristics in Isometric and Dynamic Actions of Lower Extremities in Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(5), 1391. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a4e88e>
30. Schot, P., in Knutzen, K. (1992). A Biomechanical Analysis of Four Sprint Start Positions. *Research quarterly for exercise and sport*, 63, 137–147. <https://doi.org/10.1080/02701367.1992.10607573>
31. Suarez-Arrones, L., Lara-Lopez, P., Rodriguez-Sanchez, P., Lazaro-Ramirez, J. L., Di Salvo, V., Guitart, M., Fuentes-Nieto, C., Rodas, G., in Mendez-Villanueva, A. (2019). Dissociation between changes in sprinting performance and Nordic hamstring strength in professional male football players. *PLoS ONE*, 14(3), e0213375. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213375>
32. Šarabon, N., Rosker, J., Fruhmahn, H., Burggraf, S., Loeffler, S., in Kern, H. (2013). Reliability of Maximal Voluntary Contraction Related Parameters Measured by a Novel Portable Isometric Knee Dynamometer. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 23(01), 22–27. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1331190>
33. Zabaloy, S., Freitas, T. T., Carlos-Vivas, J., Giraldez, J. C., Loturco, I., Pareja-Blanco, F., Gálvez González, J., in Alcaraz, P. E. (2024). Estimation of maximum sprinting speed with timing gates: Greater accuracy of 5-m split times compared to 10-m splits. *Sports Biomechanics*, 23(3), 262–272. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1838603>

dr. Darjan Smajla, doc.,
Univerza na Primorskem,
Fakulteta za vede o zdravju
darjan.smajla@fvz.upr.si