



Žak Anžič
Stanislav Štuhec, Darjan Spudić

Razlike v izhodnih spremenljivkah odnosa sila-hitrost-moč pri sprintu med laserjem in fotocelicami

Izvleček

Namen študije je bil preveriti sočasno veljavnost izračuna izhodnih spremenljivk profila sila-hitrost-moč (*FvP*) pri sprintu na 30 metrov med dvema merilnima instrumentoma. Rezultate, izračunane na podlagi vmesnih časov sprinta z uporabo fotocelic, smo primerjali z rezultati, izračunanimi z uporabo laserskega merilnika razdalje. V raziskavi je sodelovalo 13 nogometašic, izvedle so po dve ponovitvi sprinta na 30 metrov. Vmesni časi sprinta na 5, 10, 20 in 30 metrov so bili sočasno zajeti s fotocelicami in laserskim merilnikom. Iz časov teka za fotocelice in iz podatkov razdalje v času za laser so bile nato izračunane izhodne spremenljivke profila *FvP* za sprint. Rezultate izračunanih spremenljivk (vmesni časi teka in izhodne spremenljivke profila *FvP*) smo med sistemoma statistično primerjali s t-testom za odvisne vzorce. Moč povezanosti med njimi smo ocenili s Pearsonovim korelacijskim koeficientom. Ugotovili smo statistično značilne razlike med metodama pri vseh izračunanih spremenljivkah (velikost učinka od 0,426 do 3,420). Pearsonov korelacijski koeficient je pokazal statistično značilno pozitivno povezanost med metodama pri vmesnih časih sprinta ter največji teoretični moči (P_{max} , $r = 0,655$; $p < 0,05$) in največji teoretični hitrosti (v_o , $r = 0,946$; $p < 0,05$). Rezultati naše raziskave kažejo, da vmesni časi sprinta in izhodne spremenljivke profila *FvP* pri sprintu niso enaki, če za meritve uporabimo ali fotocelice ali laserski merilnik. Zato v prihodnje za vrednotenje sprinterskih sposobnosti priporočamo dosledno uporabo iste merilne opreme, kadar želimo med seboj primerjati rezultate različnih merjencev ali različnih meritev.

Ključne besede: laser, startni pospešek, mehanske lastnosti mišic, fotocelice



Differences in outcome variables of sprint force-velocity-power profiles between laser and photocell measurements

Abstract

The purpose of the study was to verify the concurrent validity of calculating the outcome variables of the force-velocity-power (*FvP*) profile during a 30-meter sprint using two different testing instruments. We compared the results calculated based on split sprint times using photocells with the results calculated using a laser distance meter. The study involved 13 female soccer players who performed two repetitions of a 30-meter sprint. Split sprint times at 5, 10, 20, and 30 meters were simultaneously recorded using photocells and a laser distance meter. From split times and position-time data for photocells and laser, respectively, the outcome variables of the *FvP* profile for the sprint were calculated. The calculated variables (split times and outcome variables of the *FvP* profile) were statistically compared between the systems using a paired samples t-test. The strength of the profile between the methods was additionally assessed using Pearson's correlation coefficient. We found statistically significant differences between the methods in all calculated variables (effect size from 0.426 to 3.420). Pearson's correlation coefficient showed a statistically significant positive correlation between the methods for split sprint times and maximum theoretical power (P_{max} , $r = 0.655$; $p < 0.05$) and maximum theoretical velocity variables (v_o , $r = 0.946$; $p < 0.05$). Our study results indicate that split sprint times and outcome variables of the *FvP* profile during a sprint differ when measured with photocells compared to a laser distance meter. Therefore, we recommend consistent use of measurement equipment in the future for evaluating athletes' sprinting abilities.

Keywords: laser, sprint acceleration, mechanical muscle characteristics, photocells

■ Uvod

Največja hitrost teka in startni pospešek sta ključna dejavnika uspešnosti v številnih športih. Sposobnost pospeševanja in doseganja velike hitrosti je odvisna od sposobnosti športnika za hiter razvoj sile v vodoravni smeri pri različnih hitrostih teka. Linearni odnos med silo in hitrostjo ter hiperbolični odnos med močjo in hitrostjo (v nadaljevanju: profil FvP) predstavlja matematični način prikaza razvoja hitrosti med sprintanjem (Ettema, 2023). V zadnjih dveh desetletjih se je koncept t. i. profiliranja FvP razvil in promoviral z namenom, da bi strokovnjakom zagotovil orodje za ocenjevanje in individualno prilagajanje trenažnih spreminljivk (Samozino idr., 2016).

Samozino in sodelavci (2016) so razvili profil FvP za testiranje mehanskih lastnosti spodnjih okončin s spremljanjem masnega središča telesa pri sprintu. Profil FvP lahko izračunamo na dva različna načina, in sicer iz rezultatov sile in hitrosti, ki jih izmerimo pri: a) sprintih v vpregi z uporabo različno težkih sani ali zaviralno napravo (Cahill idr., 2019) ali sprintih na tekaški stezi s prilagajanjem upora (Sirotic in Coutts, 2008; Morin idr., 2010) oziroma b) klasičnem sprintu brez uporabe dodatnih bremen ali pripomočkov (Cross idr., 2016). Najpogostejše tehnologije, ki se uporabljajo za merjenje hitrosti pospeševanja, so radar (Simperingham, Cronin in Ross, 2016), laser (Bezodis idr., 2013) in fototelice, s katerimi izmerimo vmesne čase sprinta na vnaprej določeni razdalji (Šarabon, Kozinc, Ramos, Knežević, Čoh in Mirkov, 2021). V nadaljevanju se bomo osredotočili na računanje profila FvP pri klasičnem sprintu brez dodatnih pripomočkov. V nasprotju z merjenjem profila FvP pri skokih in sprintih v vpregi, kjer v regresijsko analizo vstopamo z več pogoji (dodatnimi bremenami), je pri klasičnem sprintu samo iz horizontalne hitrosti teka (v_h) po Newtonovih zakonih (v literaturi je postopek imenovan inverzna dinamika) mogoče izračunati silo reakcije podlage v anteroposteriorni (horizontalni) smeri za masno središče telesa (F_h) in druge mehanske spreminljivke sprinta. Pri tem moramo upoštevati maso športnika in aerodinamični upor, ki deluje na telo pri sprintu. Izhodne spreminljivke profila FvP v horizontalni smeri pridobimo na podlagi regresijskega odnosa med navedenima spreminljivkama (F_h in v_h) v času izvedenega sprinta (Cross idr., 2017; Morin idr., 2011). Izračun spreminljivk izhaja iz predpostavke, da sta F_h in v_h pri sprintu v linearnem odnosu.

Obliko krivulje v_h -čas lahko namreč verodostojno opišemo z eksponentno funkcijo z dvema spreminljivkama, in sicer največjo doseženo v_h sprinta in konstanto pospeška v času sprinta (Samozino idr., 2021). Na podlagi prilagojene enačbe (ne surovih vrednosti v_h) nato sledijo koraki do izračuna F_h . Ker izračun temelji na prirejeni krivulji v_h -čas, in ne na surovih podatkih v_h v času, je povezanost med spreminljivkama izračunane F_h in v_h popolna ($r = 1$) (Cross idr., 2017).

Presečišče linearne regresijske premice med F_h in v_h z y-osjo predstavlja največjo teoretično silo (F_0) pospeševanja, presečišče premice z x-osjo pa največjo teoretično hitrost sprinta (v_0). Točki določata naklon premice F_h - v_h (S_{F-v}). In sicer, če je posameznik učinkovitejši pri pospeševanju, bo naklon premice strmejši, in obrnjeno, naklon bo položnejši, če je posameznik učinkovitejši pri doseganju največje hitrosti teka. Največjo teoretično moč sprinta (P_{max}) je posameznik sposoben ustvariti le v ozkem območju F_h oziroma v_h . To območje, ki ga lahko opišemo z obrnjeno parabolo, je v primeru linearnega odnosa med F_h in v_h točno na sredini med F_0 in v_0 . P_{max} tako ustreza 0,5-kratniku F_0 in 0,5-kratniku v_0 ter jo lahko ob poznavanju slednjih dveh izrazimo z enačbo $P_{max} = (F_0 \cdot v_0)/4$ (Vandewalle idr., 1987). Naklon regresijske premice med F_h in v_h torej pomembno vpliva na izračunano P_{max} , ki pa v največji meri pogojuje sprintersko uspešnost (Harries idr., 2012; Hori idr., 2007; Marković in Jarić, 2007). Dodatna spreminljivka, ki jo lahko izračunamo, je razmerje sil (Rf), ki opisuje razmerje med horizontalno komponento in rezultanto sile reakcije podlage ter, z drugimi besedami, odraža mehansko učinkovitost prenosa sile sprinterja na tla in v smeri sprinta. Višja je vrednost, večji del sile na podlago je usmerjen v smeri naprej in s tem je učinkovitost sprinta večja. Stopnja spremembe Rf (Drf) predstavlja spreminjanje vrednosti Rf z večanjem hitrosti sprinta in se izračuna kot odvod Rf po hitrosti. Večji je upad Drf s povečevanjem hitrosti teka, manjši je prispevek horizontalne komponente sile reakcije podlage k rezultanti sile reakcije podlage pri sprintu. Z drugimi besedami, ta spreminljivka predstavlja merilo vzdrževanja učinkovitosti pospeševanja s povečevanjem hitrosti (Morin in Samozino, 2015).

Pri meritvah sprinterske uspešnosti se v praksi uporabljajo različni merski instrumenti in vprašanje je, ali so pridobljeni

rezultati vmesnih časov sprinta in izračunanih izhodnih spreminljivk profila FvP pri sprintu, izmerjeni z različnimi instrumenti, enaki. V literaturi smo našli dve študiji, ki sta neposredno primerjali rezultate sprinta, pridobljene s fototelicami in lasersko merilno napravo (Fornasier-Santos idr., 2022; van den Tillaar idr., 2022a). Avtorji so na vzorcu rokometšašic ugotovili, da protokola dajeta iste rezultate vmesnih časov, če vmesnim časom s fototelic prištejemo 0,21 s (van den Tillaar idr., 2022). Ugotovili so tudi, da je izračun spreminljivke F_0 precejšen iz rezultatov laserja. Ravno nasprotno je ugotovil Fornasier-Santos (2022), v tej študiji so bili rezultati F_0 izrazito precejšeni, ko so bili izračunani iz rezultatov, pridobljenih s fototelicami. Namen naše raziskave je bil ponoviti testni protokol omenjenih študij na vzorcu nogometšašic z dopolnitvijo statističnih analiz in nekaterimi dodatnimi spreminljivkami sprinta. Podrobneje smo primerjali rezultate vmesnih časov teka na 5, 10, 20 in 30 metrov ter rezultate vseh izračunanih spreminljivk profila FvP (F_0 , v_0 , P_{max} , S_{F-v} , Rf in Drf) pri sprintu na 30 metrov med fototelicami in laserjem na podlagi navodil v literaturi in pripravljeno Excelovo preglednico (Morin in Samozino, 2016). Sistem merjenja s fototelicami omogoča zajem podatkov samo v času prehoda določene razdalje pri sprintu (5, 10, 20 in 30 metrov) kateregakoli dela telesa merjenja, medtem ko z laserskim merilnikom pridobivamo podatke o pretečeni razdalji na podlagi odboja laserskega žarka od ledvenega dela hrbta v realnem času. Predvidevali smo statistično značilno korelacijo med metodama pri vseh izračunanih spreminljivkah, saj lahko z obema metodama ocenimo konstrukt sprinterske uspešnosti. Glede na osnovno razliko zajemanja podatkov med metodama merjenja pa smo pričakovali statistično značilne razlike v časih teka in izračunanih izhodnih spreminljivkah profila FvP .

■ Metode

Preizkušanci

V raziskavi je sodelovalo trinajst slovenskih nogometnih reprezentantk. Povprečna starost merjenk je bila 25,1 leta ($SD = 3,6$ leta), višina 169,1 cm ($SD = 7,3$ cm) in masa 64,1 kg ($SD = 7,5$ kg). Izključitveni kriteriji za sodelovanje v raziskavi so bile kakršnekoli poškodbe, ki bi lahko vplivale na maksimalno izvedbo sprinta na 30 metrov. Pred izvedbo testiranja so merjenke izpolnile vprašalnik o pripravljenosti na vadbo (Bredin, Gledhill,

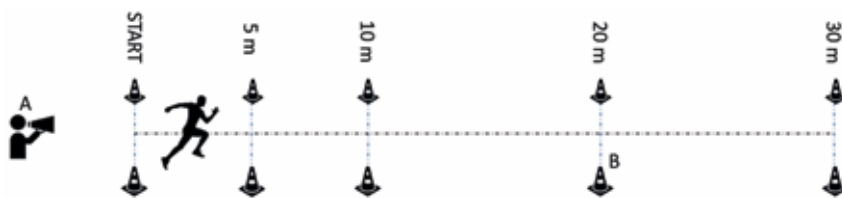
Jamnik in Warburton, 2013) in podpisale soglasje, da se meritve udeležujejo na lastno odgovornost. Seznanjene so bile tudi z možnostjo, da lahko od raziskave kadarkoli in brez posledic odstopijo. Merjenke so dobile navodilo, da dva dni pred meritvami ne izvajajo visoko intenzivne vadbe za moč nog. Celoten protokol je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (WHO, 2013).

Postopek meritev in pripomočki

Meritve so bile izvedene na Fakulteti za šport, na tartanski podlagi v dvoranskih copatih. Protokol je vključeval standardizirano ogrevanje in nato dve ponovitvi maksimalnega sprinta na 30 metrov z visokim startom. Med sprinti je imela posamezna merjenka od 5 do 10 minut odmora. Meritve so bile izvedene z laserskim merilnikom (Astech LDM 301, Rostock, Nemčija) s karakteristikami, ki jih je podrobno opisal Planjšek s sodelavci (2013). Podatki so bili zajeti z namensko napisano programsko opremo (Planjšek idr., 2013). Sočasno so bili podatki o času teka na 5, 10, 20 in 30 metrov zajeti s fotocelicami (Witty Sprint System, Microgate, Bolzano, Italija), postavljenimi 75 cm nad tlemi (Slika 1). V dvorani je bilo v času meritev izmerjenih 20 stopinj Celzija in tlak 675 mmHg. Preizkušanke so startale 30 cm pred prvo fotocelico z namenom izogiba napaki pri prvi meritvi zaradi prekinitve žarka s premikanjem ekstremitet pred dejanskim startom sprinta.

Pred meritvijo je bil sistem merjenja z laserjem kalibriran. Kalibracija je bila namenjena določitvi cone merjenja razdalje od laserja do začetnega položaja sprinta (pot = 0). V analizo podatkov smo nato vključili podatke, zajete od začetnega položaja do tridesetmetrske razdalje. Laserski merilnik je bil postavljen 5 metrov za startno črto na višini, kjer je laserski žarek usmerjen vodoravno v ledveni del merjenca (Slika 1).

Podatki razdalja-čas na tridesetmetrski razdalji so bili zajeti s frekvenco 100 Hz. Nato smo rezultate razdalje odvajali po času, da smo dobili rezultate hitrosti v času. Izhodne spremenljivke profila FvP so bile izračunane na podlagi navodil Samozina in sodelavcev (Samozino idr., 2015). Za izračun je bila uporabljena prilagojena Excelova preglednica (Samozino idr., 2015; dostopna na <https://jbmorin.net/2017/12/13/a-spreadsheet-for-sprint-acceleration-force-velocity-power-profiling/>). Vmesni časi sprinta iz fotocelic ter podatki o spremembi razdalje v času teka so bili za vsakega merjenca ročno vneseni v preglednico, kjer so bile nato iz-



Slika 1. Shema postavitve laserja in fotocelic: lokacija laserja (A) je za startom, žarek je bil usmerjen v ledveni del merjenke, stožci (B) prikazujejo postavitev fotocelic

računane izhodne spremenljivke profilov FvP (F_0 , v_0 , P_{max} , S_{F-v} , Rf in Drf), in sicer posebej za vmesne čase (Excelova preglednica, list »From Split times«) in posebej za krivuljo hitrost-čas (Excelova preglednica, list »From speed-time curves«).

Obdelava podatkov in statistična analiza

Izračunana je bila opisna statistika za lastnosti vzorca preizkušank in rezultate sprinta na 30 metrov za obe metodi. Pred izvedbo analiz je bila prisotnost osamel-

cev preverjena z razsevnim grafikonom in normalnost porazdelitve spremenljivk s Shapiro-Wilkovim testom. Razlike med instrumentoma (laser, celice) v časih teka na 5, 10, 20 in 30 metrov ter izhodnih spremenljivkah profila FvP (F_0 , v_0 , P_{max} , S_{F-v} , Rf in Drf) smo preverili s t-testom za odvisne vzorce. Velikost učinka razlik je bila izračunana s Cohenovim d koeficientom. Povezanost med rezultati obeh instrumentov smo izračunali s Pearsonovim koeficientom korelacije. Merila za razlago velikosti učinka so bila naslednja: zanemarljiva (< 0,20), majhna (0,20–0,49), zmerna (0,50–0,80) in velika

Tabela 1

Primerjava časov sprinta na 5, 10, 20 in 30 metrov ter izhodnih spremenljivk profila sila-hitrost-moč med fotocelicami in laserjem

Spremenljivka	Instrument	M (SD)	Razlika M (SD)	t (p)	d	r (p)
Čas 5 m (s)	Celice	1,24 (0,09)	0,09 (0,06)	5,04 (< 0,05)	1,11	0,73 (< 0,05)
	Laser	1,15 (0,06)				
Čas 10 m (s)	Celice	2,06 (0,12)	0,09 (0,05)	6,02 (< 0,05)	0,82	0,90 (< 0,05)
	Laser	1,97 (0,10)				
Čas 20 m (s)	Celice	3,46 (0,18)	0,10 (0,05)	6,65 (< 0,05)	0,57	0,96 (< 0,05)
	Laser	3,37 (0,17)				
Čas 30 m (s)	Celice	4,82 (0,26)	0,11 (0,05)	7,43 (< 0,05)	0,43	0,98 (< 0,05)
	Laser	4,71 (0,25)				
F_0 (N/kg)	Celice	10,43 (1,83)	4,01 (1,77)	8,18 (< 0,05)	2,92	0,27 (0,37)
	Laser	6,43 (0,66)				
v_0 (m/s)	Celice	7,49 (0,43)	-0,46 (0,19)	8,60 (< 0,05)	0,95	0,95 (< 0,05)
	Laser	7,30 (0,54)				
S_{F-v} (N/kg/s)	Celice	-1,39 (0,23)	-0,58 (0,25)	8,37 (< 0,05)	3,42	-0,14 (0,64)
	Laser	-0,81 (0,08)				
P_{max} (W/kg)	Celice	19,60 (4,01)	6,78 (3,12)	7,83 (< 0,05)	2,17	0,66 (< 0,05)
	Laser	12,81 (1,86)				
Rf_{max} (%)	Celice	0,46 (0,03)	0,08 (0,05)	6,36 (< 0,05)	2,14	0,32 (0,29)
	Laser	0,38 (0,05)				
Drf (%)	Celice	-0,13 (0,02)	-0,05 (0,02)	8,36 (< 0,05)	3,41	-0,14 (0,65)
	Laser	-0,08 (0,01)				

Opomba. F_0 – največja teoretična sila; v_0 – največja teoretična hitrost; S_{F-v} – naklon odnosa med silo in hitrostjo; P_{max} – največja teoretična moč; Rf_{max} – največji delež horizontalne komponente sile reakcije podlage; Drf – razlika med največjim in najmanjšim deležem horizontalne komponente sile reakcije podlage; t – t-testna testna statistika; d – velikost učinka Cohenov d; r – Pearsonov koeficient korelacije; p – statistična značilnost.

velikost učinka ($\geq 0,80$) (Cohen, 1988). Merila za razlago velikosti povezanosti so bila naslednja: trivialna ($< 0,10$), majhna ($0,10-0,29$), zmerna ($0,3-0,49$), visoka ($0,50-0,69$), zelo visoka ($0,7-0,9$) in popolna povezanost ($\geq 0,9$) (Hopkins idr., 2009). Za razlike med instrumentoma je bila dodatno izračunana Bland-Altmanova statistika s 95-odstotnimi intervali zaupanja, rezultati razlik med instrumentoma so grafično prikazani na Bland-Altmanovih grafikonih (Bland in Altman, 1986). Za obdelavo podatkov je bil uporabljen statistični program SPSS za Windows 25.0 (IBM Corporation, New York, ZDA) ter za grafični prikaz razlik med metodama RStudio (verzija 1.3.1073; RStudio, Inc., Boston, MA, ZDA). Statistična značilnost je bila sprejeta z dvostransko 5-odstotno pako alfa.

ma v vseh spremenljivkah ($p < 0,05$ v vseh primerih) (Tabela 1). Velikost učinka razlik je bila od 0,43 (v primeru spremenljivke »Čas 30 m«) do 3,42 (v primeru spremenljivke » S_{F-v} «). V primerjavi z rezultati vmesnih časov sprinta (Cohenov d od 0,43 do 1,11) smo večje razlike med metodama ugotovili pri izhodnih spremenljivkah profilov FvP (Cohenov d od 0,95 do 3,41). S Pearsonovim korelacijskim koeficientom smo ugotovili statistično značilno povezanost v vseh vmesnih časih teka. Pri izhodnih spremenljivkah FvP pa smo statistično značilno korelacijo odkrili samo za P_{max} ($r = 0,66$; $p < 0,05$) in v_0 ($r = 0,95$; $p < 0,05$).

Na Slikah 2 in 3 so prikazane individualne razlike v rezultatih med instrumentoma in Bland-Altmanova statistika za razlike med instrumentoma na ravni vzorca.

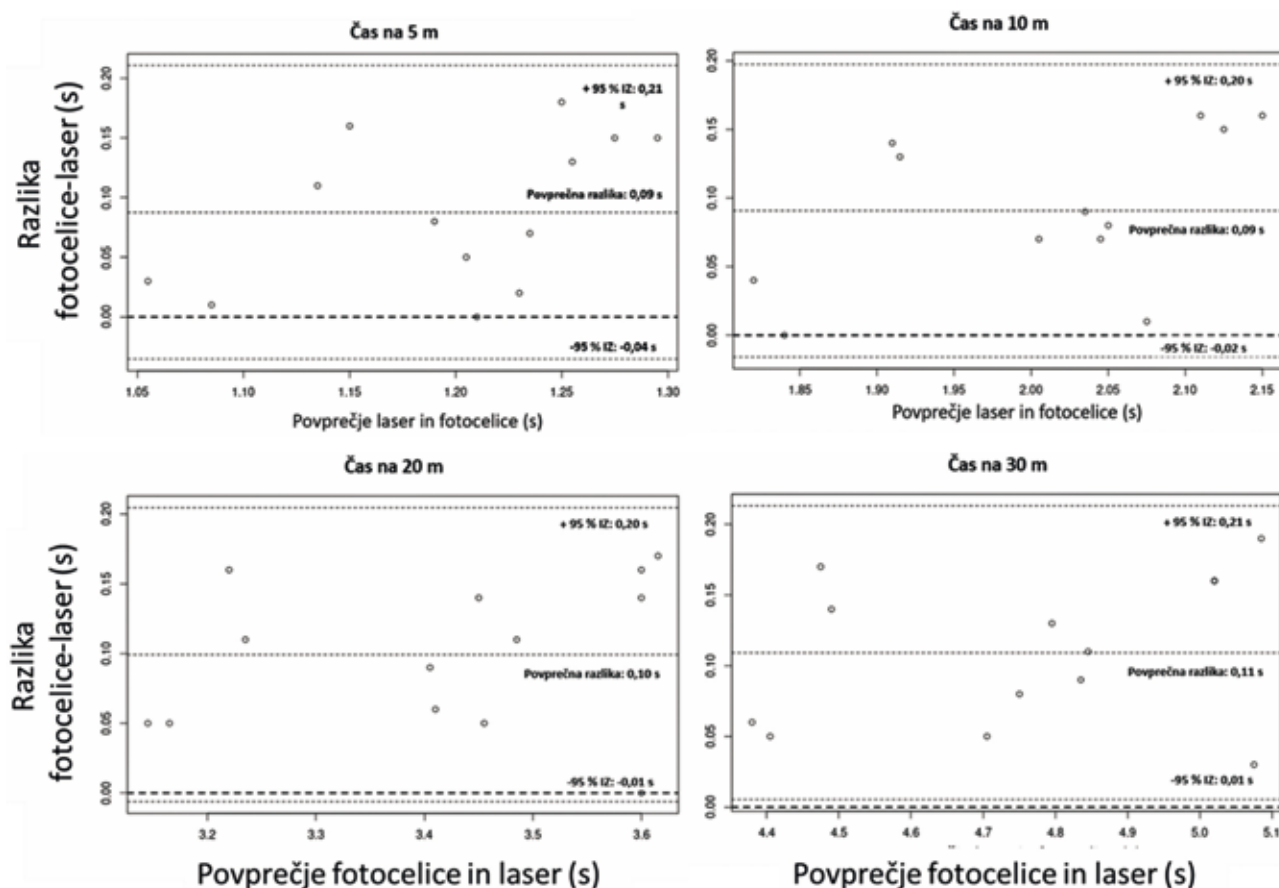
menljivk profila FvP pri sprintu na 30 metrov med dvema merilnima metodama. Rezultate, izračunane na podlagi vmesnih časov sprinta z uporabo fotocelic, smo primerjali z rezultati, izračunanimi z uporabo laserskega merilnika razdalje. V raziskavi je sodelovalo 13 nogometašic, ki so izvedle dve ponovitvi sprinta na 30 metrov. Ugotovili smo statistično značilne razlike med metodama pri vseh izračunanih spremenljivkah (velikost učinka od 0,426 do 3,420). Pearsonov korelacijski koeficient je pokazal statistično značilno pozitivno povezanost med metodama pri vmesnih časih sprinta ter največji teoretični moči (P_{max} , $r = 0,66$; $p < 0,05$) in največji teoretični hitrosti (v_0 , $r = 0,946$; $p < 0,05$). Na podlagi rezultatov lahko sprejmemo našo prvo hipotezo, s katero smo predvidevali, da bodo pridobljeni rezultati med metodama različni. Na podlagi rezultatov povezanosti med metodama pa lahko delno sprejmemo našo drugo hipotezo, s katero smo predvidevali statistično značilne korelacije v rezultatih med metodama. Te smo odkrili pri vseh spremen-

Rezultati

S t-testom za odvisne vzorce smo ugotovili statistično značilne razlike med metoda-

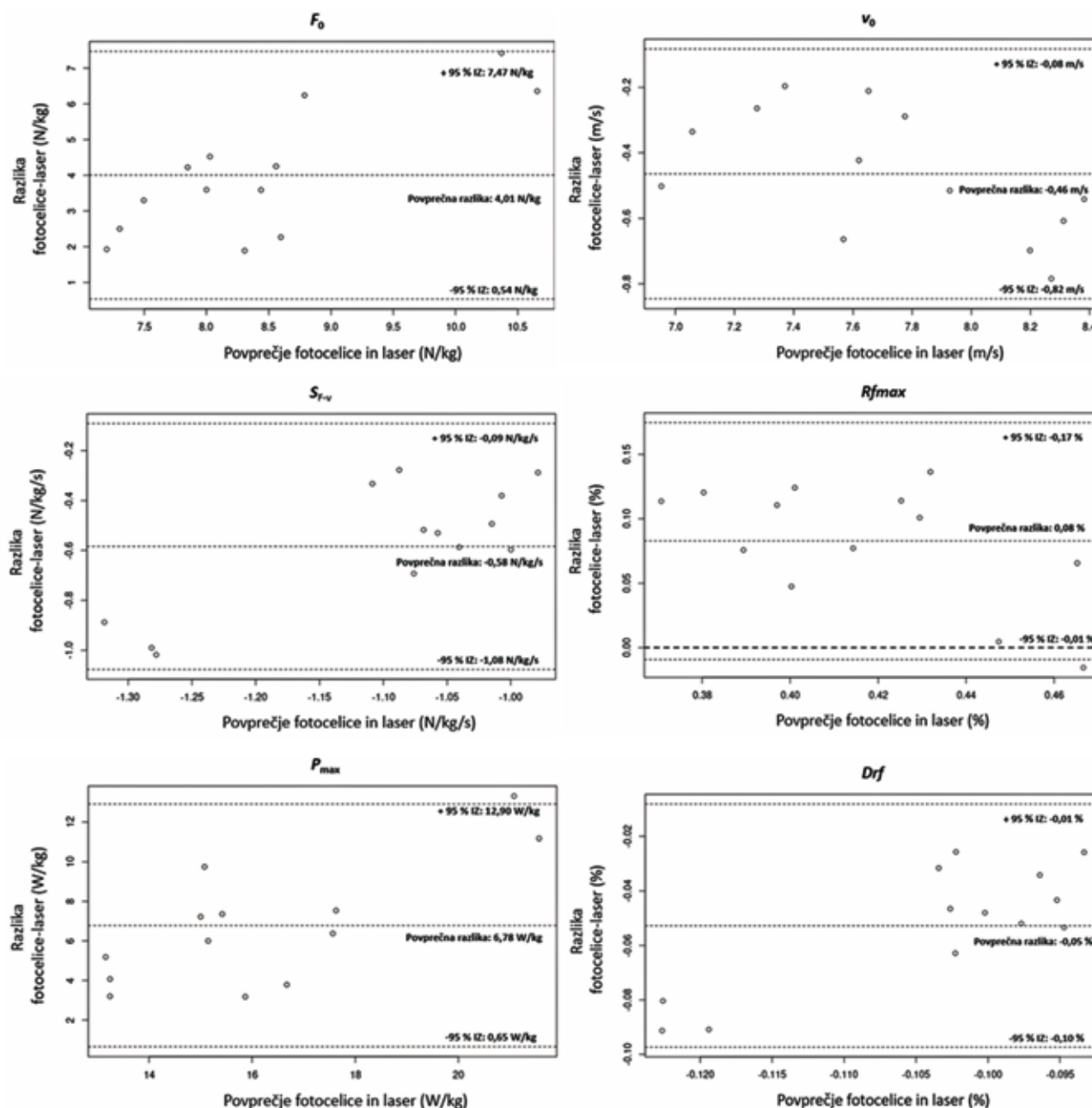
Razprava

Namen naše raziskave je bil preveriti sočasno veljavnost izračuna izhodnih spre-



Slika 2. Bland-Altmanovi grafi razlik med meritvenima instrumentoma (fotocelice in laserski merilnik razdalje) za rezultate vmesnih časov

Opomba. IZ – interval zaupanja; F_0 – največja teoretična sila; v_0 – največja teoretična hitrost; S_{F-v} – naklon odnosa med silo in hitrostjo; P_{max} – največja teoretična moč; Rf_{max} – največji delež horizontalne komponente sile reakcije podlage; Drf – razlika med največjim in najmanjšim deležem horizontalne komponente sile reakcije podlage.



Slika 3. Bland-Altmanovi grafi razlik med meritvenima instrumentoma (fotocelice in laserski merilnik razdalje) za rezultate izhodnih spremenljivk odnosa FvP

Opomba. IZ – interval zaupanja; F_0 – največja teoretična sila; v_0 – največja teoretična hitrost; S_{F-v} – naklon odnosa med silo in hitrostjo; P_{max} – največja teoretična moč; R_{fmax} – največji delež horizontalne komponente sile reakcije podlage; D_{rf} – razlika med največjim in najmanjšim deležem horizontalne komponente sile reakcije podlage.

ljivkah, razen pri P_{max} in v_0 . Rezultati vmesnih časov torej ocenjujejo isti konstrukt, tj. sprintersko uspešnost, medtem ko to ne velja za F_0 , S_{F-v} , R_f in D_{rf} .

Razlogov za ugotovljene razlike med predstavljenima merskima instrumentoma je več in izhajajo iz načina zajema podatkov. Sistem merjenja s fotocelicami omogoča zajem samo v času prehoda določene

razdalje pri sprintu (5, 10, 20 in 30 metrov) kateregakoli dela telesa merjenca (Altmann idr., 2018), medtem ko z laserskim merilnikom pridobivamo podatke o pretečeni razdalji na podlagi odboja laserskega žarka od ledvenega dela hrbta v realnem času s frekvenco 100 Hz (Štuhec idr., 2022). Fotocelice predstavljajo najenostavnejši način za beleženje vmesnih časov teka v praksi, saj pridobljenih podatkov ni treba dodatno

izračunavati. Nasprotno, z laserskim merilnikom pridobimo podatke o razdalji v času, nato pa na podlagi predhodne kalibracije prostora izračunamo vmesne čase teka na določeni razdalji. Prav tako meritve z laserjem zahtevajo izkušenega merilca, ki je sposoben v času sprinta zadrževati laserski žarek na ledvenem delu hrbta sprinterja. Prejšnje študije (Bezodis idr., 2013; Simperingham idr., 2016) navajajo večje razlike

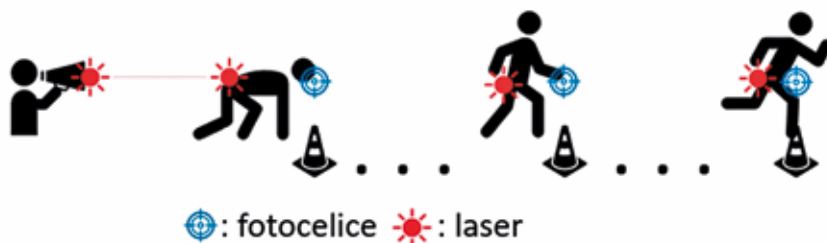
med instrumentoma pri krajših razdaljah sprinta. Tudi naši rezultati se ujemajo z rezultati teh študij, saj smo največje absolutne razlike in najnižjo korelacijo odkrili prav pri vmesnih časih na 5 metrov. Kot razlog Bezodis, Salo in Trewartha (2013) navajajo nedoslednosti pri sledenju ledvenemu delu sprinterja z laserjem v začetnih fazah sprinta zaradi več lateralnega in vertikalnega gibanja tega dela telesa kot v fazi največje hitrosti sprinta ali pa napaki pri merjenju z laserjem zaradi naklona laserja in nižjega položaja ledvenega dela telesa kot v fazi pospeševanja in fazi največje hitrosti pri sprintu. Poleg tega lahko pride tudi do razlik zaradi prekinitve žarka fotocelic z drugim delom telesa, ne ledvenim delom hrbta. Razlika v vmesnem času zaradi prekinitve žarka začetne fotocelice in fotocelice na razdalji 5 metrov z roko in ne z ledvenim delom hrbta (v primeru laserja) je lahko večja pri manjši hitrosti teka kot pri večji hitrosti teka (na 10-, 20- ali 30-metrski razdalji). Prav tako je dodaten razlog za pričakovane razlike med instrumentoma različno začetno proženje starta meritve. Pri laserju začetek sprinta predstavlja prehod ledvenega dela prek startne črte, medtem ko pri fotocelicah, postavljenih 30 cm naprej od dejanskega starta sprinta, prožimo z različnimi telesnimi segmenti (prsti rok, dlani, podlaket, nadlaket, glava ali trup). Omenjeni rezultati naše raziskave za razdalje 10, 20 in 30 metrov se skladajo z rezultati drugih študij (di Prampero idr., 2005; Morin idr., 2006; Simperingham idr., 2016; Ferro-Sánchez idr., 2012). Z namenom napačnega starta (prekinitve signala fotocelic z drugim telesnim segmentom, ne trupom oziroma medenico) se v praksi priporoča start sprinta od 0,5 do 0,3 metra pred začetnimi fotocelicami. Takšna postavitev že v osnovi pomeni napako pri izračunu startnega pospeška, saj meritev začnemo, ko je telo že v gibanju – torej z letečim startom (Slika 3). Tudi pri obdelavi podatkov, pridobljenih z laserjem, je start teka določen s prehodom razdalje od laserja, ki je predhodno določena za start. Torej je dejanska hitrost premikanja preizkušanca v horizontalni smeri že večja od nič ob predhodno določenem mestu starta. Napaka v začetni hitrosti ob startu se pojavi pri meritvah z laserjem in fotocelicami; verjetno pa je meritev z laserjem verodostojnejša, saj v nasprotju s fotocelicami začetek sprinta vedno sproži položaj ledvenega dela trupa. V literaturi se kot alternativa v izogib prej omenjenim napakam pri proženju prve fotocelice za začetek sprinta priporoča uporaba dodatne opre-

me, kot so pritiskovne plošče, kamere ali optični senzorji, pri katerih lahko start določimo na podlagi razvoja sile na podlago, začetkom premikanja telesnih segmentov ali dvigom stopal od podlage. Vendar lahko tudi takšno vrednotenje starta vpliva na rezultate, zato so potrebne dodatne študije, ki bodo raziskovale vpliv različne opreme na rezultate. Z vidika praktične uporabnosti uporaba dodatne opreme otežuje izvedbo meritev in obdelavo zajetih podatkov.

Ker izhodne spremenljivke profila FvP za sprint v primeru fotocelic izračunamo iz vmesnih časov sprinta in ker smo odkrili razlike med metodama že pri vmesnih časih sprinta, nas ne presenečajo rezultati naših analiz, ki kažejo razlike med metodama pri vseh izračunanih spremenljivkah ($F_{0'} V_{0'} P_{max'} S_{F-v'} Rf$ in Drf). Rezultati analiz se skladajo z rezultati raziskave (van den Tillaar idr., 2022), v kateri so prav tako ugotovili statistično značilne razlike med metodama pri vmesnih časih in izhodnih spremenljivkah profila FvP ($F_{0'} V_{0'} P_{max'} S_{F-v'} Rf$). V naši raziskavi smo dodatno izvedli analizo povezanosti med metodama za vse spremenljivke in ugotovili, da so rezultati vmesnih časov med metodama odlično povezani, kar pa ne velja za izhodne spremenljivke profila FvP , razen za V_0 in P_{max} . To pomeni, da metodi nista kompatibilni z vidika vrednotenja $F_{0'} S_{F-v'}$, Rf in Drf , oziroma da ne merita istega konstrukta, tj. sprinterske uspešnosti v primeru izhodnih spremenljivk profila FvP . Z drugimi besedami to pomeni, da merjenka, ki po rezultatih vmesnih časov fotocelic razvije veliko $F_{0'}$, te ne razvije nujno, če za izračun uporabimo rezultate iz laserskega merilnika. Razlog za te rezultate so nekonstantne razlike med metodama glede na pretečeno razdaljo pri sprintu oziroma razlike v rezultatih med metodama pri različnih hitrostih sprinta. Z analizo velikosti učinkov (Cohenov D) razlik vmesnih časov namreč ugotovimo, da se učinki zmanjšujejo s povečevanjem razdalje merjenja oziroma s povečevanjem hitrosti teka (5 metrov = 1,1; 10 metrov = 0,8; 20 metrov = 0,6 in 30 metrov = 0,3). To pomeni, da so napake v začetnem delu sprinta med metodama večje, kar v največji meri vpliva na izračunano F_0 in posledično na vse izhodne spremenljivke profila FvP pri sprintu, ki temeljijo na rezultatu te spremenljivke. Uvedba korekcijskega faktorja, kot je bila priporočena v predhodni študiji (van den Tillaar idr., 2022), s katerim bi izenačili rezultate v vmesnih časih med metodama (npr. rezultat laserskega merilnika na 5 metrov + 0,088 s = rezultat fotocelic na 5 metrov), to-

rej je smiselna – vendar samo na skupinski ravni. Na individualni ravni (za posameznega merjenca) se pristop zdi manj smiselni, saj se razlike med posamezniki pri vmesnih časih (individualne razlike na Bland-Altmanovem grafikonu: Slika 2) precej razlikujejo ($SD = 0,063$, tj. 72 % povprečne vrednosti razlik med metodama za rezultat vmesnega časa na 5 metrov). Prav tako višina postavitve fotocelic vpliva na rezultate vmesnih časov, kar lahko izhaja iz višine preizkušancev (Altmann idr., 2017). Iz tega lahko sklepamo, da je razlika med metodama odvisna tudi od lastnosti merjencev (šport, tehnika teka, antropološke značilnosti in hitrost teka), kar dodatno povzroča heterogenost razlik med posamezniki in ne podpira ideje o korekcijskem faktorju.

Pomembno je poudariti, da smo za rezultate fotocelic ugotovili daljše vmesne čase kot pri meritvah z laserskim merilnikom (Slika 2). Ravno obrnjeno pa smo ugotovili za rezultate izhodnih spremenljivk profila FvP , kjer so bile vrednosti v nasprotju s pričakovani precejšnje za F_0 in posledično podcenjene za V_0 (oboje Slika 3). Rezultati se ne skladajo s teoretičnimi osnovami izračuna horizontalne komponente sile na podlago. V grobem namreč krajši vmesni čas sprinta na 5 metrov za določenega preizkušanca pomeni, da je bil njegov pospešek v horizontalni smeri večji. Največji tovrstni pospešek odraža spremenljivka $F_{0'}$, ki pa je bila v nasprotju s pričakovanji izrazito večja (Slika 3, F_0) pri izračunu izhodnih spremenljivk profila FvP iz vmesnih časov sprinta (kjer so bili vmesni časi sprinta daljši). V naši raziskavi smo spremenljivke FvP izračunali na dva načina, in sicer v primeru fotocelic iz vmesnih časov sprinta in v primeru laserja iz podatkov hitrosti v času sprinta. Ob vnosu podatkov o vmesnih časih program ekstrapolira krivuljo poti v času z začetno hitrostjo nič, izračuna hitrost in ji prilagodi eksponentno funkcijo ter nato izračuna preostale mehanske spremenljivke (horizontalna sila, hitrost, moč). Ob vnosu podatkov o hitrosti v času sprinta pa program dejanski krivulji hitrosti prilagodi eksponentno funkcijo in nato izračuna preostale mehanske spremenljivke. Ob tem upošteva, da ob startu sprinta hitrost ni enaka nič (kar v primeru fotocelic ni mogoče). Sprememba hitrosti teka v nadaljnjih intervalih sprinta je tako manjša, kar pomeni, da sta tudi horizontalni pospešek in sila manjša. Zaradi upoštevanja začetne hitrosti torej lahko sklepamo, da so rezultati izhodnih spremenljivk FvP , pridobljeni z laserjem, verodostojnejši. V nadaljnjih študijah in v praksi je torej treba



Slika 4. Razlike med metodama v merjenju vmesnih časov sprinta

biti poleg uporabljenega merskega instrumenta pozoren tudi na način izračunavanja spremenljivk FvP (tj. iz vmesnih časov obeh instrumentov ali krivulje čas-hitrost v primeru laserja). V primerjavi z drugimi študijami smo v naši raziskavi dobili izrazito precenjene F0 za podatke iz fotocelic (4 N/kg razlike med metodama pomeni kar 62 % rezultata rezultatov laserja), saj so imele nogometašice v povprečju višje vrednosti od vzorca sprinterjev v raziskavi (Fornasier-Santos idr., 2022), rokometar (van den Tillaar idr., 2022) in celo vzorca igralcev ragbija (Watkins idr., 2021). Kar podpira dejstvo, da je uporaba laserskega merilnika za meritve hitrosti v času in sledeč način izračuna izhodnih spremenljivk FvP iz zajetih podatkov verodostojnejši postopek v primerjavi z uporabo vmesnih časov iz fotocelic.

Ena izmed omejitev raziskave je majhen vzorec preizkušank ($n = 13$), zaradi katerega je moč testne statistike majhna. Na podlagi tega bi bilo v prihodnje smiselno ponoviti raziskavo na večjem vzorcu merjenk in na različnih populacijah športnikov z namenom uvida v konsistentnost razlik med metodama pri različnih športih, kjer se tehnična izvedba teka in razvoj hitrosti v času lahko razlikuje. Prav tako so se v preteklosti pojavili dvomi o uporabnosti metode profiliranja FvP pri sprintu. Kot poudarja Ettema (2023) s treningom ni mogoče spreminjati S_{F-v} neodvisno od P_{max} in tako prilagajati profil FvP z namenom izboljšanja sprinterskih sposobnosti, kot pišeta Morin in Samozino (2015). Nekaj študij v zadnjem času (Lindberg idr., 2021; Vesteberg, 2023) *in vivo* prav tako zavrača dejstvo, da optimizacija S_{F-v} (Morin in Samozino, 2015) izboljša sprinterske sposobnosti bolj kot klasičen pristop k treningu. Prav tako Marcote-Pequeño in sodelavcem (2019) ni uspelo dokazati povezanosti med spremenljivkami $F_{0'}$, S_{F-v} in odstopanjem od optimalnega S_{F-v} z uspešnostjo pri skoku iz počepa in sprintom na 20 metrov. Na podlagi rezultatov naše raziskave lahko sklenemo, da je pri profiliranju profilov FvP pri sprintu treba biti pozoren

na uporabljeno metodo zajemanja in analiziranja rezultatov v izogib heterogenosti v rezultatih med študijami v prihodnje.

Rezultati naše raziskave kažejo, da se vmesni časi sprinta in izhodne spremenljivke profila FvP pri sprintu nogometašic razlikujejo, če za meritve uporabimo fotocelice oziroma laserski merilnik. Navedeni metodi merjenja sta vsaka zase uporabni za vrednotenje sprinterske uspešnosti, torej za primerjavo rezultatov med preizkušanci in vrednotenje napredka skozi čas. Vendar rezultati vmesnih časov sprinta in izračunanih profilov FvP med metodama niso primerljivi, zato v prihodnje priporočamo dosledno uporabo ene izmed predstavljenih metod za vrednotenje sprinterskih sposobnosti.

Literatura

- Alcaraz, P. E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B. O., in Martínez-Rodríguez, A. (2018). The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(9), 2143–2165. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0947-8>
- Altmann, S., Spielmann, M., Engel, F. A., Neumann, R., Ringhof, S., Oriwol, D., in Haertel, S. (2017). Validity of single-beam timing lights at different heights. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1994–1999.
- Berthoin, S., Dupont, G., Mary, P., in Gerbeaux, M. (2001). Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 75–80.
- Bezodis, N. E., Salo, A. I. T., in Trewartha, G. (2013). Measurement Error in Estimates of Sprint Velocity from a Laser Displacement Measurement Device. *International Journal of Sports Medicine*.
- Bobbett, M. F., Lindberg, K., Bjornsen, T., Solberg, P., in Paulsen, G. (2023). The force-velocity profile for jumping: what it is and what it is not. *Medicine in Science in Sports in Exercise*, 55(7), 1241–1249. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003147>
- Bland, M., in Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between

two methods of clinical measurement. *Lancet*, 8(8476), 307–310. <https://doi.org/10.1126/AAC.00483-18>

- Cahill, M. J., Oliver, J. L., Cronin, J. B., Clark, K. P., Cross, M. R., in Lloyd, R. S. (2019). Sled-Pull Load-Velocity Profiling and Implications for Sprint Training Prescription in Young Male Athletes. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(5), 119. <https://doi.org/10.3390/sports7050119>
- Cahill, M. J., Oliver, J. L., Cronin, J. B., Clark, K. P., Cross, M. R., in Lloyd, R. S. (2020). Influence of resisted sled-push training on the sprint force-velocity profile of male high school athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 30, 442–449. <https://doi.org/10.1111/sms.13600>
- Chelly, S. M., in Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine in Science in Sports in Exercise*, 33, 326–333.
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., in Cross, M. R. (2016). Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review. *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0653-3>
- Cross, M. R., Brughelli, M., Samozino, P., in Morin, J. B. (2017). Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review. *Sports Medicine*, 47, 1255–1269. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0653-3>
- Devismes, M., Aeles, J., Philips, J., in Vanwanseele, B. (2019). Sprint force-velocity profiles in soccer players: impact of sex and playing level. *Sports Biomechanics*.
- di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., in Antonutto, G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *Experimental Biology*, 208(14), 2809–2816. <https://doi.org/10.1242/jeb.01700>
- Ettema, G. (2023). The Force – Velocity Profiling Concept for Sprint Running Is a Dead End. 2, 1–4.
- Ferro-Sánchez, A., Floria, P., Villaciers, J., in Aguado-Gómez, R. (2012). Validez y fiabilidad del sensor láser del sistema BioLaserSport(R) para el análisis de la velocidad de la carrera. *RICYDE Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 8(30), 357–370. <https://doi.org/10.5232/ricyde2012.03005>
- Furusawa, K., Hill, A. V., in Parkinson, J. L. (1927). The dynamics of "sprint" running. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, 102, 29–42.
- Fornasier-Santos, C., Arnould, A., Jusseaume, J., Millot, B., Guilhem, G., Couturier, A., Samozino, P., Slawinski, J., in Morin, J. B. (2022). Sprint Acceleration Mechanical Outputs Derived from Position– or Velocity–Time Data: A Multi-System Comparison Study. *Sensors*, 22(22). <https://doi.org/10.3390/s22228610>
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceed-*

- dings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 126(843), 136–195. <https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
19. Hinkle, D. E., Wiersma, W., in Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* (5th Edition). Houghton Mifflin. <https://doi.org/doi:10.1001/jama.2013.281053>
20. Human Subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194.
21. Jiménez-Reyes, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., in Samozino, P. (2019). Differences in sprint mechanical force-velocity profile between trained soccer and futsal players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14, 478–485. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0402>
22. Kotani, Y., Lake, J., Guppy, S. N., Poon, W., Nosaka, K., Hori, N., in Haff, G. G. (2022). Reliability of the Squat Jump Force-Velocity and Load-Velocity Profiles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(11), 3000–3007. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004057>
23. Lindberg, K., Solberg, P., Rønnestad, B. R., Frank, M. T., Larsen, T., Abusdal, G., Berntsen, S., Paulsen, G., Sveen, O., Seynnes, O., in Bjørnsen, T. (2021). Should we individualize training based on force-velocity profiling to improve physical performance in athletes?. *Scandinavian journal of medicine in science in sports*, 31(12), 2198–2210. <https://doi.org/10.1111/sms.14044>
24. Lombardi, V., in Piazzesi, G. (1990). The contractile response during lengthening of stimulated frog muscle fibres. *Journal of Physiology*, 431, 141–171.
25. Marcote-Pequeño, R., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Hernández, J. M., Gómez, M. A., in Jiménez-Reyes, P. (2019). Association Between the Force-Velocity Profile and Performance Variables Obtained in Jumping and Sprinting in Elite Female Soccer Players. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 209–215. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0233>
26. Morin, J. B., in Samozino, P. (2015). Interpreting Power-Force-Velocity Profiles for Individualized and Specific Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
27. Morin, J. B., in Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267–272. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2015-0638>
28. Morin, J. B., Jeannin, T., Chevallier, B., in Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2), 158–165. <https://doi.org/10.1055/s-2005-837569>
29. Morin, J. B., Samozino, P., Murata, M., Cross, M. R., in Nagahara, R. (2019). A simple method for computing sprint acceleration kinetics from running velocity data: Replication study with improved design. *Journal of Biomechanics*, 94, 82–87.
30. Proske, U., in Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *Journal of Physiology*, 537(2), 333–345.
31. Ribič, A., Štuhec, S., in Spudić, D. (2022). Veljavnost odnosa sila-hitrost-moč pri simulaciji teka na smučeh z rolkami. *Šport*, 70(1/2), 164–171. Top of Form
32. Samozino, P., Peyrot, N., Edouard, P., Naga-hara, R., Jimenez-Reyes, P., Vanwanseele, B., in Morin, J. B. (2021). Optimal mechanical force-velocity profile for sprint acceleration performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, July. <https://doi.org/10.1111/sms.14097>
33. Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., in Saez de Villarreal, E. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(6), 648–658. <https://doi.org/10.1111/sms.12490>
34. Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., in Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(6), 648–658. <https://doi.org/10.1111/sms.12490>
35. Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., in Morin, J.-B. (2012). Optimal Force-Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius: Citius or Fortius? *Medicine in Science in Sports in Exercise*, 44(2), 313–322.
36. Simperingham, K. D., Cronin, J. B., in Ross, A. (2016). Advances in Sprint Acceleration Profiling for Field-Based Team-Sport Athletes: Utility, Reliability, Validity and Limitations. *Sports Medicine*, 46, 1619–1645. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0508-y>
37. Simperingham, K. D., Cronin, J. B., Pearson, S. N., in Ross, A. (2019). Reliability of horizontal force-velocity-power profiling during short sprint-running accelerations using radar technology. *Sports Biomechanics*, 18(1), 88–99. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1386707>
38. Sirotic, A. C., in Coutts, A. J. (2008). The reliability of physiological and performance measures during simulated team-sport running on a non-motorised treadmill. *Journal of science and medicine in sport*, 11(5), 500–509. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.04.008>
39. Šarabon, N., Kozinc, Ž., Garcia Ramos, A., Knežević, O. M., Čoh, M., in Mirkov, D. M. (2021). Reliability of Sprint Force-Velocity-Power Profiles Obtained with KiSprint System. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20, 357–364. <http://www.jssm.org> DOI: <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.357>
40. Štuhec, S., Planjšek, P., Ptak, M., Čoh, M., in Mackala, K. (2022). Application of the Laser Linear Distance-Speed-Acceleration Measurement System and Sport Kinematic Analysis Software. *Sensors*, 22(15), 5876. <https://doi.org/10.3390/s22155876>
41. van den Tillaar, R., Haugen, M. E., in Falch, H. N. (2022). A Comparison of Sprint Mechanical Parameters Measured With Timing Gates and a Laser Gun. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4(April). <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.877482>
42. Watkins, C. M., Storey, A., McGuigan, M. R., Downes, P., in Gill, N. D. (2021). Horizontal Force-Velocity-Power Profiling of Rugby Players: A Cross-Sectional Analysis of Competition-Level and Position-Specific Movement Demands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(6), 1576–1585.
43. World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20):2191–2194. 10.1001/jama.2013.281053. PMID: 24141714.

doc. dr. Darjan Spudić, mag. kin.
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za šport
darjan.spudic@fsp.uni-lj.si