



Pia Trbovšek,
Žan Breznikar, Darjan Spudić

Kriterijska veljavnost dvotočkovne metode za ocenjevanje profila sila-hitrost-moč

Izvleček

Namen študije je bil preveriti veljavnost dvotočkovne metode ocenjevanja mehanskih lastnosti mišic z odnosom sila-hitrost-moč ($F-v-P$). Izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$, izračunane z dvotočkovno metodo, smo primerjali s pettočkovno metodo, ki smo jo izbrali kot kredibilen kriterij. Drugi namen študije je bil preveriti, ali je verodostojnost dvotočkovne metode povezana z maksimalno močjo športnikov pri iztegu kolena na izometrični upornici (NHK). V študiji je sodelovalo 44 študentov Fakultete za šport. Izvedeni so bili skoki z nasprotnim gibanjem s petimi različno težkimi bremenmi. S t-testom za odvisne vzorce smo ugotovili statistično značilne razlike med metodama samo za največjo teoretično moč ($P_{\max}$) ($p < 0,05$), medtem ko statistično značilnih razlik v največji teoretični sili (F_0), največji teoretični hitrosti (v_0) in naklonu krivulje sila-hitrost (naklon $F-v$) nismo odkrili (vse $p > 0,05$). S Pearsonovim oziroma Spearmanovim korelacijskim koeficientom nismo ugotovili statistično značilne povezanosti med razlikami v izhodnih spremenljivkah odnosa $F-v-P$ med metodama in NHK ($p > 0,05$). Glavni ugotovitvi naše raziskave sta, da je – razen $P_{\max}$ – izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$ pri skokih z nasprotnim gibanjem z dodatnimi bremenmi (F_0 , v_0 in naklon $F-v$) mogoče verodostojno oceniti z dvotočkovno metodo (pri čemer lažje breme predstavlja telesna masa posameznika in težje breme olimpijska palica z 80 % telesne mase preiskovanca) in da rezultati niso povezani z močjo preiskovancev.

Ključne besede: skok z nasprotnim gibanjem, profil, dvotočkovna metoda, pettočkovna metoda.



Criterion validity of two-point method for assessing the force-velocity-power profile

Abstract

The purpose of this study was to investigate the criterion validity of the two-point method for Force-velocity-Power ($F-v-P$) relationship assessment. $F-v-P$ outcome variables calculated using the two-point method were compared with the same variables calculated using the five-point method, which was chosen as the credible criterion. The second objective of this study was to investigate whether the validity of the two-point method correlated with the maximum strength of the participants. Forty-four students from the Faculty of Sport participated in the study. Incremental load counter movement jumps test and an isometric knee extensor strength (KES) tests were performed. Paired-samples t-test revealed statistically significant differences between the two methods for maximal theoretical power ($P_{\max}$) ($p < 0,05$). No differences were found for maximal theoretical force (F_0), maximal theoretical velocity (v_0) and slope of the force-velocity curve (slope $F-v$) (all $p > 0,05$). Using Pearson's and Spearman's correlation coefficients, we did not find statistically significant correlations between the differences of the methods in $F-v-P$ outcomes and KES ($p > 0,05$). The main findings of our study were that, with the exception of $P_{\max}$, the $F-v-P$ outcomes can be credibly calculated using the 2-point method (where low load corresponds to the body mass condition and high load corresponds to additional 80% body mass condition) and that the results are not correlated with the strength of the participants.

Keywords: counter movement jump, power output, two-point method, five-point method.

Uvod

V zadnjem desetletju je izšlo veliko študij na temo odnosa med silo in hitrostjo ($F-v$) pri večsklepni (balistični) gibanjih. V nasprotju z enosklepnim gibanjem je regresijski odnos $F-v$ pri večsklepni gibanju (kvazi)linearen (Bobbert, 2012; Jaric, 2015; Samozin idr., 2012). Bobbert (2012) je linearnost potrdil z matematičnim modelom. Kot glavni vzrok za spremembo krivulje iz hiperbolične (pri enosklepnem gibanju) v linearno je navedel segmentno dinamiko – večja je hitrost linearnega gibanja, več sile (navora) se izgubi pri prenosu iz posameznega segmenta na končni (linearni) gib. Razmerje $F-v$ (ali *navor-kotna hitrost* pri enosklepnem gibanju) pri izvedbi dinamičnega mišičnega krčenja neposredno določa tudi mehansko moč. Ta je enaka skalarnemu produktu hitrosti prijemališča sile in komponente sile v smeri hitrosti. Oblika regresijske krivulje $F-v$ torej pomembno vpliva na izračunano mehansko moč, ki pa v največji meri pogojuje uspešnost pri športnospecifičnih gibalnih nalogah (hitrost teka, višina odziva, hitrost spremembe smeri) (Harries idr., 2012; Hori idr., 2007; Markovic in Jaric, 2007b, 2007a) (25 studies in npr. pri opravljanju vsakodnevnih opravil starejših (Gray in Paulson, 2014; Reid in Fiedling, 2012).

Linearen odnos med proizvedeno silo in hitrostjo pomeni metodološko veliko bolj enostaven način za spremljanje mehanskih lastnosti mišic kot hiperbolični. Omogoča enostaven izračun začetnih vrednosti in ničelnih vrednosti linearne funkcije. Presečišče krivulje z osjo y tako predstavlja največjo teoretično silo (F_0), ki jo je posameznik sposoben proizvesti v izometričnih pogojih (pri $v = 0$), presečišče krivulje z osjo x pa nam predstavlja največjo teoretično hitrost (v_0), ki jo je posameznik sposoben ustvariti v pogojih brez kakršnekoli obremenitve (pri $F = 0$). Točki določata naklon krivulje *sila-hitrost* (*naklon* $F-v$), in sicer bo naklon krivulje $F-v$ strmejši, če je posameznik bolj učinkovit pri proizvajanju velikih sil, ter obrnjen, naklon bo položnejši, če je posameznik bolj učinkovit pri ustvarjanju velikih hitrosti. Največjo mehansko moč je posameznik sposoben ustvariti le v ozkem območju sil oziroma hitrosti. To območje, ki ga lahko opišemo z obrnjeno parabolo, je pri linearnem odnosu $F-v$ točno na sredini med v_0 in $F_0 \cdot P_{\max}$ tako ustreza 0,5-kratniku F_0 in 0,5-kratniku v_0 (Vandewalle idr., 1987).

Večtočkovna metoda ocenjevanja $F-v-P$ (pri kateri preiskovanec izvede npr. skoke z na-

sprotnim gibanjem pri pet ali več različno težkih bremenih) se izkaže za dolgotrajno, posledično bolj utrujajočo in manj uporabno v praksi. Pri večsklepni gibanjih, kjer je odnos $F-v$ linearen, se je izkazalo, da je za verodostojen vpogled v lastnosti mišic iztegovalk nog (skok iz polčepa, skok z nasprotnim gibanjem) in rok (priteg na prsi in potisk s prsi) (García-Ramos in Jaric, 2018) zadostna izvedba testiranja samo v dveh pogojih (dvotočkovna metoda ali *angl.* two-point method) (García-Ramos idr., 2021; Janicijevic idr., 2020; Pérez-Castilla idr., 2018), pri čemer je bistvena standardizacija pogojev merjenja (Cosic idr., 2019; García-Ramos idr., 2017; Janicijevic idr., 2020).

Do zdaj so bile v šestih študijah primerjane osnovne merske karakteristike dvotočkovne metode (zanesljivost, veljavnost in občutljivost na spremembo skozi čas kot posledica vadbe) s karakteristikami večtočkovne metode – pri katerih so v izračun izhodnih spremenljivk linearnega odnosa $F-v-P$ vstopali z več kot dvema točkama oziroma, z drugimi besedami, z rezultati sile in hitrosti pri skokih z več kot dvema bremenoma (Dobrijevic idr., 2017; García Ramos idr., 2016; García-Ramos idr., 2018; Grbic idr., 2017; Sreckovic idr., 2015; Zivkovic idr., 2017). Merske karakteristike in rezultati izhodnih spremenljivk se med dvotočkovno in večtočkovnimi metodami ne razlikujejo. Avtorji pa spodbujajo uporabo dvotočkovne metode, in sicer z uporabo dveh najbolj oddaljenih točk oziroma bremen (zelo lahko breme in zelo težko breme). Predhodne študije opozarjajo le na to, da se zanesljivost dvotočkovne metode in njena veljavnost (v primerjavi z večtočkovno) zmanjšujeta proporcionalno z zmanjševanjem razlike v velikosti uporabljenih bremen, katerih podatke uporabimo za računanje odnosa $F-v-P$ (Sreckovic idr., 2015).

Kljub potrditvi veljavnosti dvotočkovne metode v literaturi v praksi ugotavljamo razlike v izhodnih spremenljivkah odnosa $F-v-P$ (F_0 , v_0 , $P_{\max}$ in *naklon* $F-v$) med dvotočkovno in večtočkovnimi metodami. Zato je bil prvi namen naše študije statistično potrditi verodostojnost prejšnjih študij s tem, da smo primerjali izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$ med dvotočkovno in večtočkovno metodo, ki smo jo izbrali kot kredibilen kriterij. Predpostavili smo statistično značilne razlike v izračunanih spremenljivkah $F-v-P$ med metodama, ker z odzemanjem točk (pogojev merjenja sile in hitrosti) pri dvotočkovni metodi izgubimo pomembne informacije v srednjem

območju razvoja sil in hitrosti pri iztegu nog ob izvedbi skoka, ki (domnevno) vplivajo na obliko regresijskega odnosa $F-v$. Pri meritvah v praksi opažamo tudi trend k večji verodostojnosti dvotočkovne metode pri močnejših športnikih. Posledično je bil drugi namen naše študije preveriti, ali je verodostojnost dvotočkovne metode povezana z maksimalno močjo športnikov. Predpostavili smo, da bodo razlike med dvo- in večtočkovno metodo negativno povezane z močjo športnikov, saj močnejši športniki skoke z velikimi bremenimi lahko izvedejo tehnično neoporečno. Rezultati naše študije dajejo ključne informacije trenerjem in kineziologom, ki se odločajo za izbiro časovno in energijsko varčnega ter glede na maksimalno moč športnikov prilagojenega protokola meritev za oceno mehanskih lastnosti mišic iztegovalk nog.

Metode

Preiskovanci

V raziskavi je prostovoljno sodelovalo 44 študentov Fakultete za šport (starih med 20 in 26 let). Karakteristike preiskovancev 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 z bremenimi. Pred izvedbo testiranja so preiskovanci podpisali soglasje, da se meritve udeležujejo na lastno odgovornost, ter izpolnili vprašalnik o pripravljenosti na vadbo (Bredin idr., 2013). Seznanjeni so bili s pravico do odstopa od raziskave brez posledic. Merjenci so dobili navodilo, da 2 dneva pred meritvami ne izvajajo visoko intenzivne vadbe za moč, ki bi vključevala spodnje okončine. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (World Medical Association, 2013).

Postopek meritev in obdelava podatkov

Izvedena je bila znotrajlaborska veljavna študija. Meritve so bile izvedene v kineziološkem laboratoriju na Fakulteti za šport. Pred izvedbo testiranja so preiskovanci izvedli standardizirano desetminutno ogrevanje, ki je vključevalo izvedbo dinamičnih razteznih vaj za noge in trup. Meritve so bile izvedene na pritiskovni plošči (model 9287A, Kistler, Winterthur, Švica) in izometrični upornici za izteg kolena (Laboratorij za kineziologijo, Fakulteta za šport). Zaporedje velikosti bremen, s katerimi so preiskovanci izvajali skoke, je bilo za vsake-

Tabela 1

Karakteristike vzorca preiskovancev

Spol	Število	Starost (leta)	Višina (cm)	Telesna masa (kg)	Indeks telesne mase (kg/m ²)
Moški	20	23,4 (1,7)	181,1 (8,2)	75,6 (11,4)	22,9 (2,3)
Ženske	25	24,1 (3,1)	167,7 (6,6)	62,6 (9,5)	22,2 (2,2)
Skupaj	45	23,8 (2,6)	172,9 (9,7)	67,6 (11,9)	22,5 (2,2)

Opomba. Rezultati so prikazani kot aritmetična sredina (standardni odklon).

ga posameznika izbrano naključno, s čimer smo se želeli izogniti sistematični napaki zaradi učinka učenja izvedbe testov in minimizirati vpliv utrujenosti na končni rezultat. Preiskovanci so teden dni pred izvedbo testiranja izvedli familiarizacijski protokol, ki je vključeval skoke z nasprotnim gibanjem z dodanimi bremenami (po tri skoke z 20 % in 80 % dodatne telesne mase) in izteg kolena na izometrični upornici (3 največje hotene izometrične kontrakcije [NHIK]).

Skoki z dodatnimi bremenami (odnos sila-hitrost)

Izvedeni so bili skoki z nasprotnim gibanjem z dodatnimi bremenami. Dodatna bremena so bila določena relativno – glede na telesno maso posameznika, in sicer: 0 % (plastična palica), 20 %, 40 %, 60 % in 80 % telesne mase. Število bremen je bilo izbrano na podlagi izsledkov prejšnjih študij (Jančičevič idr., 2020) ter je temeljilo na načelu izbire dveh čim bolj različnih intenzivnosti (lahko breme in težko breme) (García-Ramos in Jaric, 2018) in na načelu izbire petih različnih intenzivnosti (Lindberg idr., 2021). Merjenci so dobili navodilo, da se iz stoje čim hitreje spustijo v polčep (kot v kolenu in kolku 90°) ter odrinejo navpično čim hitreje in čim višje. Globino počepa in usmerjenost pogleda je skrbno nadzoroval me-

rilec. Pri vsakem pogoju je bilo izvedenih 3–5 skokov z vsaj 30-sekundnim odmorom znotraj pogoja in vsaj 2-minutni odmor med pogoji. V statistično obdelavo smo vključili skok, pri katerem je merjenec skočil najvišje (Petrigna idr., 2019). Posebej za vsak skok pri vsakem izmed petih pogojev sta bili s pomočjo programske opreme ARS – s tovarniškimi nastavitvami obdelave krivulj – odčitani povprečna sila in povprečna hitrost v času odriva. Vrednosti so bile normalizirane na telesno maso posameznika in prenesene v namensko pripravljeno Excelovo tabelo (Microsoft Corporations, Redmond, Washington) (García-Ramos idr., 2021) za analizo skokov z dodatnimi bremenami, t. i. analizo $F-v-P$ (Samozino idr., 2014). Za pettočkovno in dvotočkovno metodo (najlažje in najtežje breme) so bile izračunane naslednje spremenljivke: F_0 [N/kg], v_0 [m/s], naklon $F-v$ [(N/kg)/(m/s)] in P_{max} [W/kg] (Samozino idr., 2014) (Slika 1).

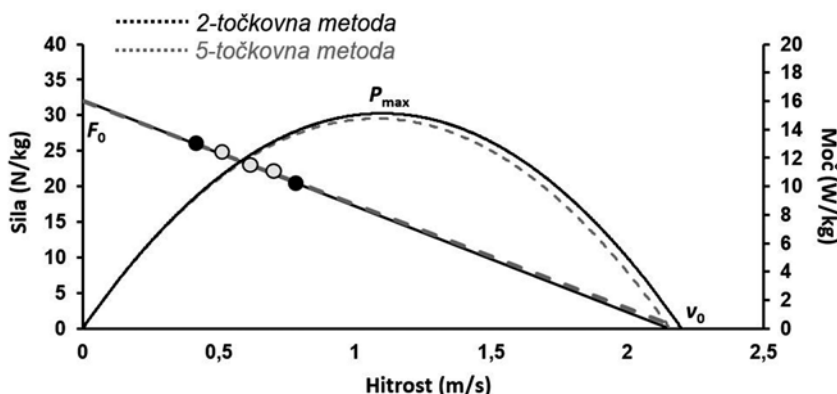
Največja hotena kontrakcija pri iztegu kolena na izometrični upornici

Za meritve izometrične moči pri iztegu kolena je bila uporabljena izometrična upornica (Laboratorij za kineziologijo, Fakulteta za šport) opremljena s tlačno-nateznim senzorjem (MES, Maribor, Slovenija).

Kot v kolenu je bil 60° in kot v kolku 110° (popolnoma iztegnjeno koleno oziroma kolik predstavlja kot 0°). Upornica je bila individualno nameščena na sprednji del goleni, do tri centimetre nad lateralnim maleolom. Os vrtenja potisne ročice je bila lateralno poravnana s kolensko sklepno špranjo. Konstanten položaj preiskovanca med ponovitvami smo zagotovili s pasom za dodatno pričvrstitev medenice na sedalo. Preiskovanec je dobil navodilo, da se med izvedbo testa z dlanmi čvrsto oprime sedalne površine. Protokol je zajemal progresivno izometrično naprežanje mišic na subjektivno določenih 40 %, 60 % in 80 % največje hotene izometrične kontrakcije. Pri vsaki stopnji je bila izvedena ena ponovitev, trajala je pet sekund z vmesnim 30-sekundnim odmorom. Po 60-sekundnem odmoru so bile izvedene tri največje hotene kontrakcije, pri čemer je preiskovanec dobil navodilo, da postopoma v treh sekundah koleno iztegne s čim večjo silo (100 %) in izteg zadrži nadaljnjih pet sekund. Meritve so bile izvedene na odrivno dominantni nogi. Surov signal iz tlačno-nateznega senzorja je bil pretvorjen v silo [N] in pomnožen z dolžino konstantne ročice izometrične upornice v metrih, da smo dobili navor [Nm]. Največja moč (NHIK) je bila izračunana na sekundnem intervalu tekečega povprečja signala. Navor je bil dodatno normaliziran na telesno maso posameznika. Za neposredno povratno informacijo oziroma vizualizacijo signalov ter obdelavo podatkov smo uporabili programsko opremo LabChart 8 (ADInstruments, Bella Vista, Avstralija).

Statistična analiza

Izračunana je bila opisna statistika za lastnosti vzorca preiskovancev in rezultate skokov z dodatnimi bremenami obeh metod (dvotočkovne in pettočkovne) (Slika 1). Podatki so predstavljeni kot povprečja in standardni odkloni. Pred izvedbo analiz je bila prisotnost osamelcev preverjena z razsevnim grafikonom. Za primerjavo med izhodnimi spremenljivkami odnosa $F-v-P$ med dvotočkovno metodo in pettočkovno metodo je bil uporabljen t-test za parne vzorce, velikost učinka je bila preverjena s Cohenovim D (ES). Normalnost porazdelitve razlik med metodama je bila predhodno preverjena s Shapiro-Wilkovim testom. Ker je bila pri P_{max} kršena predpostavka o normalnosti porazdelitve razlik med metodama, smo za ugotavljanje razlik med metodama pri tej spremenljivki uporabili alternativni Wilcoxonov test. Merila za raz-



Slika 1. Grafični prikaz odnosa sila-hitrost-moč in njegovih izhodnih spremenljivk, izračunanih s pomočjo dvo- in pettočkovne metode

Opomba. F_0 – največja teoretična sila, v_0 – največja teoretična hitrost, P_{max} – največja teoretična moč.

lago velikosti ES so bila naslednja: zanemarljiva ($< 0,20$), majhna ($0,20-0,50$), zmerna ($0,50-0,80$) in velika ($> 0,80$) (Cohen, 1988). Povezavo med močjo športnikov in razlikami med metodama smo ugotavljali s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r) ali Spearmanovim korelacijskim koeficientom (ρ). Predhodno smo preverili linearnost povezave med razlikami med metodama in močjo športnikov 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). 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

S t-testom za odvisne vzorce nismo ugotovili statistično značilnih razlik med metodama v spremenljivkah F_0 ($t(43) = -1,520$; $p > 0,05$; ES = 0,93) in $naklon F-v$ ($t(43) = 0,083$; $p > 0,05$; ES = 0,71). Z Wilcoxonovim testom nismo ugotovili statistično značilnih razlik med metodama v spremenljivki v_0 ($t(43) = -1,777$; $p > 0,05$; ES = 0,36), medtem ko smo ugotovili statistično značilne razlike med metodama v spremenljivki P_{max} ($t(43) = -2,664$; $p < 0,05$; ES = 1,96) (Tabela 2).

S Pearsonovim korelacijskim koeficientom smo ugotovili statistično neznačilno majhno pozitivno povezanost med razlikami v metodah pri F_0 in NHIK ($r = 0,233$; $p > 0,05$) ter majhno negativno povezanost med razlikami v metodah pri $naklonu F-v$ in NHIK ($r = -0,232$; $p > 0,05$). S Spearmanovim korelacijskim koeficientom smo ugotovili majhno negativno povezanost med razlikami v metodah pri v_0 in NHIK ($\rho = -0,219$; $p < 0,05$) ter med razlikami v metodah pri P_{max} in NHIK ($\rho = 0,2281$; $p < 0,05$) (Tabela 3).

Razprava

Namen naše študije je bil potrditi verodostojnost dvotočkovne metode merjenja izhodnih spremenljivk odnosa $F-v-P$. Primerjali smo rezultate izhodnih spremenljivke odnosa $F-v-P$ med dvotočkovno in pettočkovno metodo, ki smo jo izbrali za kredibilen kriterij. Statistično značilne razlike med metodama smo opazili v spremenljivki P_{max} , nismo pa ugotovili statistično značilnih razlik med metodama v spremenljivkah F_0 , v_0

Tabela 2

Primerjava med metodama

Spremenljivka	5-točkovna M (SD)	2-točkovna M (SD)	Razlika 5-2 M (SD)	Testna statistika	p	ES
F_0 [N/kg]	30,74 (4,15)	30,96 (4,26)	-0,21 (0,93)	-1,520*	0,136	0,93
v_0 [m/s]	4,50 (1,37)	4,59 (1,44)	-0,09 (0,36)	-1,777**	0,083	0,36
P_{max} [W/kg]	33,95 (9,02)	34,74 (8,91)	-0,79 (1,96)	-2,664**	0,011	1,96
$Naklon F-v$ [N/kg]/[m/s]	-7,49 (2,49)	-7,50 (2,71)	0,01 (0,71)	0,083*	0,934	0,71

Opomba. M – aritmetična sredina, SD – standardni odklon, **Z-testna statistika za Wilcoxonov test, t-testna statistika za t-test za odvisne vzorce, p – statistična značilnost.

Tabela 3

Povezanost med maksimalno izometrično kontrakcijo pri iztegu kolena in razlikami med metodama

Spremenljivka	Koeficient povezanosti	p
F_0 [N/kg]	0,233*	0,129
v_0 [m/s]	-0,219**	0,153
P_{max} [W/kg]	-0,166**	0,281
$Naklon F-v$ [N/kg]/[m/s]	-0,232*	0,129

Opomba. *Pearsonov korelacijski koeficient, **Spearmanov korelacijski koeficient, p – statistična značilnost.

in $naklon F-v$. Na podlagi teh ugotovitev smo zavrgli našo domnevo, da obstajajo statistično značilne razlike med metodama v vseh izhodnih spremenljivkah. Drugi namen naše študije je bil preveriti, ali so razlike med metodama povezane z močjo preiskovancev. To smo ugotavljali s Pearsonovim (P_{max}) in Spearmanovim (F_0 , v_0 , $naklon F-v$) korelacijskim koeficientom. Ugotovili smo, da v razlikah med metodama in močjo preiskovancev ni statistično značilne povezanosti. Na podlagi tega lahko zavremo tudi našo drugo hipotezo, da bodo razlike med metodama statistično značilno negativno povezane.

Rezultati naše raziskave so v skladu s prejšnjimi študijami, ki so pokazale, da dvotočkovna metoda izračuna izhodnih spremenljivk odnosa $F-v-P$, ki temelji na dveh najbolj oddaljenih bremenih, zagotavlja sprejemljivo zanesljivost in visoko veljavnost glede na večtočkovne metode pri izvedbi različnih večsklepnih gibanj (skok iz polčepa ali z nasprotnim gibanjem, počep, potisk s prsi, priteg na prsi) (García Ramos idr., 2016; García-Ramos idr., 2017; García-Ramos idr., 2021a; García-Ramos in Jaric, 2018; Janicijevic idr., 2020; Jaric, 2016). Pri pregledu literature nam ni uspelo najti raziskav, ki bi preverjale verodostojnost dvotočkovne metode v povezavi z največjo močjo preiskovancev. Kljub temu se je v preteklosti pokazalo, da se lahko izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$ razlikujejo glede na sto-

pnjo telesne pripravljenosti (Cuk idr., 2016), starost (Yamauchi idr., 2009) in športno disciplino (Giroux idr., 2016). Naša predpostavka je bila, da šibkejši preiskovanci skok z nasprotnim gibanjem izvedejo tehnično oporečno, npr. z manjšo amplitudo spusta v počep, počasneje ali submaksimalno zaradi težav, povezanih s strahom pred velikim bremenom na ramenih – vse kljub maksimalni spodbudi merilca. Pri večtočkovni metodi se odstopanje ene izmed točk (torej hitrosti in/ali sile pri enem izmed bremen) od linearne premice izrazi v manjši meri kot pri dvotočkovni metodi. Pri slednji slabša tehnična izvedba neposredno določa rezultat (npr. slabša tehnična izvedba pri težkem bremenu izrazito podceni F_0 in preeni v_0), medtem ko je to pri večtočkovni metodi manj izrazito. Po našem mnenju je vzrok za to, da statistično značilnih povezav med močjo preiskovancev in razlikami med metodama nismo ugotovili, tudi homogen vzorec aktivnih študentov Fakultete za šport, ki so bili tehnično izpopolnjeni za izvedbo skoka tudi pri velikem bremenu.

Zaradi enostavnosti in ekonomičnosti testiranja mišičnih sposobnosti s pomočjo odnosa *sila-hitrost-moč* ($F-v-P$) se v zadnjih letih ta vse večkrat pojavlja kot metoda vrednotenja sprememb mišičnih zmogljivosti zaradi treninga in posledično športne uspešnosti (Jiménez-Reyes idr., 2017, 2019; Samozino idr., 2012). Izkazalo se je, da vadba za moč z velikimi bremenimi poveča F_0 in

obrnjeno, da vadba za moč brez bremen (z lastno telesno maso ali celo v razbremenjenih pogojih) poveča v_0 (Jiménez-Reyes idr., 2017, 2019). Z vadbo v enem ali drugem spektru odnosa $F-v$ pa vplivamo tudi na $P_{\max}$. Ugotovljeno je bilo, da imata lahko dva posameznika enako $P_{\max}$, vendar je doprinos F_0 ali v_0 lahko drugačen. Iz tega je sledilo spoznanje, da poleg absolutne $P_{\max}$ amplitude giba (npr. ob odzivu), odzivnega kota in telesne mase posameznika (Jaric in Markovic, 2009, 2013; Markovic in Jaric, 2007b, 2007a; Pazin idr., 2013) na višino skoka ali sprintersko uspešnost vpliva tudi strmina naklona krivulje $F-v$ (Samozino idr., 2012), $P_{\max}$ – torej relativni doprinos sile oziroma hitrosti k največji mehanski moči. Za posameznika se z uporabo matematičnega modela torej lahko izračuna optimalen naklon $F-v$ ($\text{naklon } F-v_{\text{opt}}$) (Samozino idr., 2010) s predpostavko, da posameznik največjo relativno odzivno mehansko moč, pri izbrani amplitudi odziva, proizvede z lastno telesno maso. Na podlagi odstopanja od $\text{naklona } F-v_{\text{opt}}$ (trenutni $\text{naklon } F-v/\text{naklon } F-v_{\text{opt}}$) (Samozino idr., 2014) športnike lahko razdelimo na dominantne v proizvodnji sile (*angl.* force dominant), dominantne v proizvodnji hitrosti (*angl.* velocity dominant) ali uravnotežene (*angl.* well-balanced). Literatura kaže, da je trening moči, usmerjen v uravnoteženje krivulje $F-v$, učinkovit pri izboljšanju višine skoka, neodvisno od izboljšanja $P_{\max}$ (Jiménez-Reyes idr., 2017). Na podlagi rezultatov naše raziskave lahko v praksi trenerji in kineziologi za prilagoditev vadbene bremena glede na $\text{naklon } F-v_{\text{opt}}$ mehanske lastnosti mišic iztegovalk nog verodostojno ocenijo z uporabo dvotočkovne metode, pri čemer najlažje breme predstavlja telesna masa posameznika, najtežje breme pa olimpijska palica z 80 % telesne mase preiskovanca. Treba je omeniti, da rezultatov naše študije ne moremo posplošiti na druge večsklepne vaje (npr. potisk s prsi ali priteg na prsi). Verodostojnost dvotočkovne metode z relativno določeno maso bremena (% telesne mase) bi morala biti posebej preverjena predvsem pri vajah, pri katerih najlažje breme predstavlja masa bremena (npr. potisk s prsi), in ne telesna masa kot pri skokih (skok z nasprotnim gibanjem, skok iz polčepa). Manj verodostojna in primerljiva je ocena $P_{\max}$ med metodama, ki se je izkazala za statistično značilno različno. Vzrok za razlike samo v spremenljivki $P_{\max}$ lahko pojasnimo z načinom njenega izračuna. Ker $P_{\max}$ predstavlja četrtino produkta med F_0 in v_0 ali

v_0 , ki je sicer lahko statistično neznatno negativna ali pozitivna) lahko potencira in postane statistično značilna.

Raziskava je imela nekaj omejitev, na katere je treba opozoriti. Testiranje je potekalo v enem dnevu, kar bi lahko povzročilo utrujenost in posledično vplivalo na rezultat. Da smo zmanjšali sistematičen vpliv utrujenosti na rezultate, smo za vsakega posameznika zaporedje bremen izbrali naključno. Med izvedbo skokov smo amplitudo spusta v polčep pri skoku z nasprotnim gibanjem nadzorovali samo vizualno. Amplituda se je v preteklosti izkazala za spremenljivo, pozitivno povezano z višino skoka in proizvedeno mehansko močjo pri odzivu (Mandic idr., 2015), zato bi bilo smiselno amplitudo nadzorovati še bolj natančno (npr. z izračunom amplitude iz vertikalnega premika centra mase) ali z zunanjim kriterijem (npr. dotik elastike). Predvsem pri šibkejših posameznikih v praksi ugotavljamo, da je amplituda spusta v počep pri izvedbi skoka z nasprotnim gibanjem manjša pri večjih bremenih. To pa bi lahko vplivalo na proizvedeno silo in hitrost odziva. Po drugi strani je bilo dokazano tudi, da se izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$ ne razlikujejo, če preiskovanci skoke izvedejo iz določene globine (90° kot v kolenih) ali iz globine, ki jo določijo sami in jim najbolj ustreza (Janičević idr., 2020). Amplitudo odziva bi bilo veliko lažje nadzorovati, če bi bil izveden skok iz polčepa (npr. s podprto utežjo v začetnem položaju ali elastiko, nameščeno v višini stegen). Vendar pri skoku iz polčepa ocenjujemo samo lastnosti živčno-mišičnega sistema pri koncentrični kontrakciji, s čimer je zunanja veljavnost testa glede na športnospecifična gibanja omejena.

V prihodnje bi bilo smiselno raziskavo ponoviti na bolj heterogenem vzorcu, pri čemer bi lahko zaradi večjih razlik v maksimalni moči med preiskovanci pričakovali razlike v izhodnih spremenljivkah odnosa $F-v-P$ kot posledico tehnično slabše izvedene skoka pri velikih bremenih.

Glavni ugotovitvi naše raziskave sta, da je izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$ pri skokih z bremenem z nasprotnim gibanjem (F_0 , v_0 in $\text{naklon } F-v$) mogoče verodostojno oceniti z dvotočkovno metodo – z izjemo $P_{\max}$ – in da rezultati niso povezani z močjo preiskovancev. Na podlagi izsledkov naše raziskave lahko trenerji in kineziologi mehanske lastnosti mišic iztegovalk nog v praksi verodostojno ocenijo z uporabo dvotočkovne metode, pri čemer lažje breme predstavlja telesna masa posameznika,

težje breme pa olimpijska ročka z 80 % telesne mase preiskovanca. Na podlagi dvotočkovne metode so navodila za trening moči, ki temelji na izbiri velikosti bremena glede na $\text{naklon } F-v$, verodostojna. Pri uporabi dvotočkovne metode pa so rezultati $P_{\max}$ manj verodostojni, zato je za oceno največje mehanske moči, ki se je izkazala tudi za zunanjo najbolj veljavno spremenljivko (Cronin in Sleivert, 2005), bolj smiselna uporaba večtočkovne (pettočkovne) metode.

Literatura

1. Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M. in Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of sports sciences*, 33(15), 1574–9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
2. Bredin, S. S. D., Gledhill, N., Jamnik, V. K. in Warburton, D. E. R. (2013). *Physical Activity Series PAR-Q+ and ePARmed-X+ New risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike*.
3. Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol*, 112(12), 1975–1983. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00787.2011>
4. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.)*. (N. Hillsdale, Ur.). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
5. Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kulolj, M. in Jaric, S. (2014). Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps. *European journal of applied physiology*, 114(8), 1703–14. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2901-2>
6. Cuk, I., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., Kulolj, M., Ugarkovic, D. in Jaric, S. (2016). Force-velocity property of leg muscles in individuals of different level of physical fitness. *Sports biomechanics*, 15(2), 207–19. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1159724>
7. Cosic, M., Djuric, S., Zivkovic, M. Z., Nedeljkovic, A., Leontijevic, B. in Jaric, S. (2019). Is Test Standardization Important when Arm and Leg Muscle Mechanical Properties are Assessed Through the Force-Velocity Relationship? *Journal of Human Kinetics*, 69, 47–58. <https://doi.org/10.2478/hukin>
8. Cronin, J. in Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Medicine*, 35(3), 213–234. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535030-00003>

9. Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A. in Jaric, S. (2016). Selective Effects of Training Against Weight and Inertia on Muscle Mechanical Properties. *International journal of sports physiology and performance*, 11(7), 927–932. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0527>
10. Dobrijevic, S., Ilic, V., Djuric, S. in Jaric, S. (2017). Force-velocity relationship of leg muscles assessed with motorized treadmill tests: Two-velocity method. *Gait & posture*, 56, 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.033>
11. García Ramos, A., Feriche, B. in Padial, P. (2016). Reliability and validity of the „two-load method“ to determine leg extensors maximal mechanical capacities. Katowice, Poland. Pridobljeno s <https://www.researchgate.net/publication/308338835>
12. García-Ramos, A., Feriche, B., Pérez-Castilla, A., Padial, P. in Jaric, S. (2017). Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *European journal of sport science*, 17(6), 690–698. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1304999>
13. García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P. in Feriche, B. (2016). Force-Velocity Relationship of Upper Body Muscles: Traditional Versus Ballistic Bench Press. *Journal of applied biomechanics*, 32(2), 178–85. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0162>
14. García-Ramos, A., Torrejón, A., Pérez-Castilla, A., Morales-Artacho, A. J. in Jaric, S. (2018). Selective Changes in the Mechanical Capacities of Lower-Body Muscles After Cycle-Ergometer Sprint Training Against Heavy and Light Resistances. *International journal of sports physiology and performance*, 13(3), 290–297. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0239>
15. Garcia-Ramos, A. in Jaric, S. (2018). Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 54–66. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000359>
16. García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A. in Jaric, S. (2021). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports Biomechanics*, 20(2), 274–289. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1545044>
17. Gray, M. in Paulson, S. (2014). Developing a measure of muscular power during a functional task for older adults. *BMC Geriatrics*, 14(1), 4–9. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-145>
18. Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D. in Guilhem, G. (2016). Optimal Balance Between Force and Velocity Differs Among World-Class Athletes. *Journal of applied biomechanics*, 32(1), 59–68. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0070>
19. González-Badillo, J. J., Marques, M. C. in Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of human kinetics*, 29A, 15–9. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0053-6>
20. Grbic, V., Djuric, S., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Nedeljkovic, A. in Jaric, S. (2017). A Novel Two-Velocity Method for Elaborate Isokinetic Testing of Knee Extensors. *International Journal of Sports Medicine*, 38(10), 741–746. <https://doi.org/10.1055/s-0043-113043>
21. Hansen, K. T., Cronin, J. B., Pickering, S. L. in Newton, M. J. (2011). Does cluster loading enhance lower body power development in pre-season preparation of elite rugby union players? Pridobljeno s www.nsca-jscr.org
22. Harries, S. K., Lubans, D. R. in Callister, R. (2012). Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(6), 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.02.005>
23. Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R. in Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 314–320.
24. Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Mirkov, D. M., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P. in García-Ramos, A. (2020). Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads. *European Journal of Sport Science*, 20(5), 614–623. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1645886>
25. Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International journal of sports medicine*, 36(9), 699–704. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547283>
26. Jaric, S. (2016). Two-Load Method for Distinguishing Between Muscle Force, Velocity, and Power-Producing Capacities. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(11), 1585–1589. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0531-z>
27. Jaric, S. in Markovic, G. (2009). Leg muscles design: The maximum dynamic output hypothesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(4), 780–787. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818f2bfa>
28. Jaric, S. in Markovic, G. (2013). Body mass maximizes power output in human jumping: A strength-independent optimum loading behavior. *European Journal of Applied Physiology*, 113(12), 2913–2923. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2707-7>
29. Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Cuadrado-Peñafiel, V., Conceição, F., González-Badillo, J. J. in Morin, J. B. (2014). Effect of counter-movement on power-force-velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114(11), 2281–2288. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2947-1>
30. Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M. in Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
31. Jiménez-Reyes, P., Samozino, P. in Morin, J. B. (2019). Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS ONE*, 14(5), e0216681.
32. Mandic, R., Jakovljevic, S. in Jaric, S. (2015). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *J Electromyogr Kinesiol*, 25(2), 265–272. <https://doi.org/10.1002/cnrc.27633>
33. Markovic, G. in Jaric, S. (2007a). Is vertical jump height a body size-independent measure of muscle power? *Journal of Sports Sciences*, 25(12), 1355–1363. <https://doi.org/10.1080/02640410601021713>
34. Markovic, G. in Jaric, S. (2007b). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1757–1764. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31811ece35>
35. 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), 267–72. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
36. Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L. in Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load-, Force-, and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *International journal of sports physiology and performance*, 12(9), 1249–1255. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0657>
37. Pazin, N., Berjan, B., Nedeljkovic, A., Markovic, G. in Jaric, S. (2013). Power output in vertical jumps: Does optimum loading depend on activity profiles? *European Journal of Applied Physiology*, 113(3), 577–589. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2464-z>
38. Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P. in García-Ramos, A. (2018). Evaluation of Muscle Mechanical Capacities Through the Two-Load Method: Optimization of the Load Selection. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1245–1253. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001969>
39. Reid, K. F. in Fielding, R. A. (2012). Skeletal Muscle Power: A Critical Determinant of Physical Functioning In Older Adults. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(1), 4–12. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e31823b5f13>

40. Samozino, P., Edouard, P., Sangnier, S., Brughelli, M., Gimenez, P. in Morin, J. B. (2014). Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(6), 505–510. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1354382>
41. Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F. F. in Belli, A. (2010). Jumping ability: A theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.01.021>
42. 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 and Science in Sports and Exercise*, 44(2), 313–322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
43. Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D. in Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European journal of applied physiology*, 115(8), 1779–87. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3165-1>
44. Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J. in Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 650–656. <https://doi.org/10.1007/bf00424805>
45. Vandewalle, H., Pérès, G. in Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 4(4), 268–89. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704040-00004>
46. World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–4. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
47. Yamauchi, J., Mishima, C., Nakayama, S. in Ishii, N. (2009). Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women. *Journal of biomechanics*, 42(13), 2151–7. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.05.032>
48. Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D. in Jaric, S. (2017). A simple method for assessment of muscle force, velocity, and power producing capacities from functional movement tasks. *Journal of sports sciences*, 35(13), 1287–1293. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1221521>

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