



Darjan Spudić,
Aljaž Markič, Izabela Lužnik, Samo Rauter

Vrednotenje odnosa sila-hitrost-moč s skoki z dodatnimi bremenami pri kolesarjih

Izvleček

Namen raziskave je bil primerjati izhodne spremenljivke odnosa sila-hitrost-moč ($F-v-P$) s spremenljivkami testa Wingate. V študiji je sodelovalo 10 vrhunskih kolesarjev. V istem dnevu so bili v naključnem vrstnem redu izvedeni skoki iz polčepa pri štirih pogojih (določeni z dodatnim bremenom glede na telesno maso posameznika) in testiranje na cikloergometru. Rezultati testov so bili primerjani s t-testom za odvisne vzorce in Pearsonovim korelacijskim koeficientom (r). Ugotovili smo statistično značilne razlike med največjo in povprečno proizvedeno močjo (velikost učinka $[\omega^2]$: 0,766–0,932) ter naklonom krivulje $F-v$ in padcem moči pri testu Wingate ($\omega^2 = 0,988$). Med rezultati smo ugotovili zmerno visoko povezanost (r : 0,59–0,85). Anaerobna moč in kapaciteta sta bili višji pri kolesarjih, ki so bili dominantni v proizvodnji velikih sil, ne hitrosti. Rezultati kažejo na to, da z obema testoma izmerimo isto živčno-mišično sposobnost iztegovalk nog kolesarjev. Izračun odnosa $F-v-P$ poleg izvedbe testa Wingate daje natančnejše informacije o anaerobni moči iztegovalk nog v celotnem spektru območja sil in hitrosti, kar omogoča določanje dominantne lastnosti kolesarja pri proizvodnji moči. Časovno ekonomičen in energijsko varčen protokol merjenja bi lahko v prihodnje pomenil temelj za natančnejše določanje obremenitev pri vadbi za moč pri kolesarjih, načrtovanju trenajzne/tekmovalne taktike in nadaljnjem raziskovanju optimizacije odnosa $F-v-P$ pri kolesarjih.

Ključne besede: skok iz polčepa, test Wingate, moč, profil sila-hitrost, kolesarstvo



Evaluation of force-velocity-power profile with additional weights in cycling

Abstract

The aim of the study was to compare variables of the force-velocity-power ($F-v-P$) relationship and variables obtained during the Wingate test. Ten elite cyclists participated in the study. Within the same day, all subjects performed squat jumps under four conditions (which were assigned relative to participants' body mass) and cycle-ergometer testing. Results were compared using a paired-samples t-test and Pearson correlation coefficient (r). We found statistically significant differences between maximum and average power variables (effect size $[\omega^2]$: 0.766-0.932) and between the slope of the $F-v$ curve and the power drop during the Wingate test ($\omega^2 = 0.988$). Nevertheless, medium-large correlations (r : 0.59-0.85) were found between the results. Anaerobic power and capacity were higher in cyclists who were force-dominant rather than velocity-dominant. Calculating the $F-v-P$ profile in addition to performing the Wingate test provides more accurate information on the anaerobic properties of the leg extensor muscles and allows cyclists to be categorized based on their dominant power production characteristics. In the future, a time-efficient and energy-saving measurement protocol could provide a basis for more accurate definition of training load in resistance training for cyclists, for planning training/competition tactics, and for future studies to optimize the $F-v-P$ profile in cyclists.

Keywords: squat jump, Wingate test, power output, force-velocity relationship, cycling

■ Uvod

Sila (F), ki jo lahko proizvede mišica, je omejena s hitrostjo (v) krčenja mišice in obratno. Večja je v krčenja mišice, nižjo F lahko mišica proizvede. Že davnega leta 1938 je Hill (Hill, 1938) to razmerje pri izotonični mišični kontrakciji opisal s hiperbolo, ki se s kraki približuje največji F oziroma na drugi strani največji v krčenja mišice. Gre za mehansko mišično lastnost, ki je odvisna od velikega spleta morfoloških in živčnih dejavnikov (Alcazar, Csapo, Ara in Alegre, 2019; Alegre, 2019). Hiperbolična oblika razmerja je bila skozi leta potrjena z veliko raziskavami, merskimi postopki, uporabljeno opremo, zavestno mišično aktivacijo (*lat. in vivo*) in na izoliranih mišicah (*lat. in vitro*).

Razmerje sila-hitrost ($F-v$) (ali navor-kotna hitrost pri izvedbi krožnega ali enosklepnega gibanja) pri izvedbi dinamičnega mišičnega krčenja neposredno določa tudi mišično moč. Moč (P) je enaka skalarnemu produktu v prijemališča F in komponente F v smeri v . Oblika regresijske krivulje $F-v$ torej pomembno vpliva na izračunano P , ki pa v največji meri pogojuje športno uspešnost (Harries, Lubans in Callister, 2012; Hori idr., 2007; Markovic in Jaric, 2007) in funkcionalnost starejših pri opravljanju vsakodnevnih opravil (Gray in Paulson, 2014; Reid in Fiedling, 2012).

V zadnjih letih je bilo ugotovljeno, da je oblika krivulje $F-v$ pri enosklepnih gibanjih hiperbolična, pri večsklepkih, kompleksnih gibanjih pa se je oblika krivulje izkazala kot linearna (Bobbert, 2012; Samozino, Rejc, Di Prampero, Belli in Morin, 2012; Živkovic idr., 2016). Bobbert (2012) je teorijo potrdil na matematičnem modelu. Kot glavni vzrok za spremembo krivulje iz hiperbolične v linearno je naslovil segmentno dinamiko – večja je v linearnega gibanja, več F (navora) se izgubi pri prenosu iz posameznega segmenta na končni (linearni) gib. S tem je dokazal tudi, da za razlike v krivuljah ni treba iskati vzrokov v nevralnih dejavnikih. Pred tem je namreč veljalo prepričanje, da so za različne oblike krivulj odgovorni nevralni dejavniki, saj so večsklepna gibanja z vidika motorične kontrole bolj kompleksna (Yamauchi, Mishima, Fujiwara, Nakayama in Ishii, 2007). Ključno je torej spoznanje, da lastnosti mišic pri enosklepnem gibanju sledijo hiperbolični obliki $F-v$, medtem ko je odnos sile in hitrosti pri večsklepkih linearnih gibanjih linearen.

Linearen odnos med proizvedeno F in v je v primerjavi s hiperboličnim veliko bolj enostaven način za spremljanje lastnosti mišic.

Izkazalo se je celo, da za verodostojen vpogled v lastnosti mišic iztegovalk nog (skok iz polčepa, skok z nasprotnim gibanjem, horizontalni poteg in potisk rok) (García-Ramos in Jaric, 2017) zadostuje izvedba testiranja samo v dveh pogojih (*angl. two-point method*) celotnega spektra $F-v$, pri čemer pa sta izrednega pomena pravilna izbira dodatnega bremena (García-Ramos, Pérez-Castilla in Jaric, 2018; Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial in García-Ramos, 2018) in standardizacija pogojev merjenja (García-Ramos, Feriche, Pérez-Castilla, Padial in Jaric, 2017; Janicijevic idr., 2019).

Linearen regresijski odnos $F-v$ nam omogoča izračun ničel in začetnih vrednosti funkcije. Presečišče premice z y -osjo tako predstavlja največjo teoretično silo (F_0), ki jo je posameznik sposoben proizvesti v izometričnih pogojih (pri $v = 0$), presečišče premice z x -osjo pa nam predstavlja največjo teoretično hitrost (V_0), ki jo je posameznik sposoben ustvariti v pogojih brez kakršne koli obremenitve (pri $F = 0$). Točki določata naklon premice sila-hitrost (naklon $F-v$): če je posameznik bolj učinkovit pri proizvajanju velikih F , bo naklon premice $F-v$ strmejši – in obrnjen, položnejši, če je posameznik bolj učinkovit pri ustvarjanju velikih v . Največjo moč (P_{max}) je posameznik sposoben ustvariti le v ozkem območju v oziroma F . To območje, ki ga lahko opišemo z obrnjeno parabolo, je pri linearnem odnosu $F-v$ točno na sredini med največjo V_0 in F_0 . P_{max} tako ustreza 0,5-kratniku F_0 in 0,5-kratniku V_0 in jo lahko ob poznavanju slednjih dveh izrazimo z enačbo $P_{max} = [F_0 \cdot V_0] / 4$ (Vandewalle, Péreès in Monod, 1987). Teoretična osnova se je v literaturi izkazala za veljavno pri vrednotenju anaerobne moči spodnjih ekstremitet (skoki, kolesarjenje na cikloergometru, sprint) (Samozino idr., 2012).

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, Samozino in Morin, 2019; Morin in Samozino, 2016; Samozino, Morin, Hintzy in Belli, 2010). Izkazalo se je, da vadba moči z velikimi bremenimi izboljša sposobnosti mišic za proizvajanje F_0 in obratno, da vadba moči brez bremen (z lastno telesno maso ali celo v razbremenjenih pogojih) izboljša sposobnosti mišic za proizvajanje V_0 (Jiménez-Reyes idr., 2019). Z vadbo v enem ali drugem spektru odnosa $F-v$ pa vplivamo tudi na največjo proizvedeno mišično P . Ugotovljeno je

bilo, da imata lahko dva posameznika enako P_{max} , vendar je doprinos F_0 ali V_0 lahko drugačen. Iz česar je sledilo spoznanje, da poleg absolutne P_{max} amplitude giba (npr. ob odzivu), odzivnega kota in telesne mase posameznika (Jaric in Markovic, 2013; Pazin, Berjan, Nedeljkovic, Markovic in Jaric, 2013) na višino skoka ali sprintersko uspešnost vpliva tudi naklon $F-v$ (Samozino idr., 2012). Za posameznika se z matematičnim modelom lahko izračuna optimalen naklon $F-v$ ($F-v_{opt}$) (Samozino idr., 2010) in odstopanje od tega naklona $F-v/F-v_{opt}$ (Samozino idr., 2014). Na podlagi odstopanja od $F-v_{opt}$ športnike lahko razdelimo na dominantne v F (*angl. force dominant*), v v (*angl. velocity dominant*) ali uravnotežene (*angl. well-balanced*). Literatura kaže na to, da je balističen trening moči, usmerjen v uravnoteženje krivulje $F-v$, bolj učinkovit pri izboljšanju višine skoka kot tradicionalen trening moči (Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli in Morin, 2017). Testiranje lastnosti za proizvajanje F v širokem spektru v pa omogoča podrobnejši vpogled v lastnosti živčno-mišičnega sistema od testiranja zgolj v enem pogoju (npr. samo skok brez dodatnega bremena).

V kolesarstvu se za merjenje anaerobne zmogljivosti uporablja uveljavljen in zanesljiv test Wingate (Aziz in Chuan, 2004). Najvišja P in povprečna P (P_{avg}), ki jo kolesar proizvede ob poganjanju kolesa z določeno obremenitvijo, sta veljavni meri anaerobne moči in kapacitete. Prav tako pomembna mera je upad P (*angl. Power drop* (P_{drop}) ali Fatigue index), ki se izračuna kot razlika med najvišjo in najnižjo izmerjeno proizvedeno P v času testa (Bar-Or, 1987; Legaz-Arrese, Munguía-Izquierdo, Carranza-García in Torres-Dávila, 2011; Aziz idr., 2004; Astorino idr., 2011). Te mere predstavljajo objektivna merila, ki omogočajo primerjanje med športniki in longitudinalno spremljanje športnika v različnih obdobjih. Prav anaerobna zmogljivost je pomemben dejavnik pri šprintih in pospeševanjih na kolesu, ki so v veliki meri odvisni od anaerobnih energetskega virov. Zaradi tega so se izhodne spremenljivke testa Wingate izkazale za koristne tudi pri napovedovanju uspeha v kolesarstvu (Astorino idr., 2011). Stvar razprave ostaja ustaljen pogoj merjenja anaerobne moči na cikloergometru za ugotavljanje P_{max} (Jaafar, Rouis, Attiogbé, Vandewalle in Driss, 2016). P_{max} je tudi pri poganjanju kolesa odvisna od v (kadence pri vrtenju) in F (navora), ki ga ustvarja kolesar, in sklepamo lahko, da je pri vsakem posamezniku različen doprinos F in v k P_{max} .

ki jo proizvede v tako določenih pogojih merjenja na cikloergometru. Najpogostejše obremenitev na cikloergometru predstavlja breme 7,5 % telesne mase, čeprav je bilo z nekaj študijami že dokazano, da je proizvedena P z bremenimi pod 10 % telesne mase v večini primerov podcenjena, posebej pri nadpovprečno močnih posameznikih (Jaafar idr., 2016). Meritve samo pri enem pogoju prav tako ne omogočajo vpogleda v doprinos F in v k skupni P , s čimer je kasneje določanje trenažnega bremena za izboljšanje P kolesarjenja manj natančno, v večini praktičnih primerov arbitrarno. Tako kot pri skokih se je regresijski odnos med kadenco in proizvedenim navorom pri dvigajočih se obremenitvah izkazal za linearnega (Gross M. in Gross, 2019; Zivkovic, Djuric, Cuk, Suzovic in Jaric, 2017), kar ima potencial za nadaljnje raziskovanje učinkov vadbe za moč pri kolesarjih s poučkom na optimizaciji naklona F - v ali zgolj taktično svetovanje glede na trenutne sposobnosti.

Namen raziskave je bil preveriti zunanjo veljavnost merjenja anaerobnih sposobnosti mišic nog s skoki z bremenami pri vrhunskih kolesarjih. Izhodne spremenljivke odnosa F - v - P , izmerjene s skoki z dodatnimi bremenami, so bile primerjane s spremenljivkami testa Wingate (7,5 % telesne mase), ki je v kolesarstvu uveljavljena metoda za merjenje anaerobne moči. Ker imajo v obeh testih glavno vlogo iztegovalke nog, smo predpostavili, da obstaja povezanost v P_{max} , izmerjeni s skoki z bremenami, in P_{max} pri testu Wingate. Domnevali smo tudi, da bo upad P pri testu Wingate manjši pri kolesarjih, ki bodo dominantni v proizvodnji F , kar bi skupaj s prejšnjo hipotezo pomenilo, da sta njihova anaerobna moč in zmogljivost večji. Pričakujemo, da bodo rezultati raziskave pripomogli k nadaljnjemu raziskovanju anaerobne moči pri kolesarjih v laboratorijskih pogojih. Časovno ekonomičen in energijsko varčen protokol merjenja odnosa F - v - P pri skokih z bremenami bi lahko v prihodnje pomenil bolj poglobljen pristop k spremljanju sposobnosti mišic na celotnem spektru območja F in v in s tem prispeval k optimalnejšemu določanju obremenitev pri vadbi za moč pri kolesarjih.

Metode

Preiskovanci

V raziskavi je prostovoljno sodelovalo 10 članov slovenske kolesarske reprezentance (mlajši člani U23). Povprečna starost mer-

jencev je bila 20,7 leta ($SD = 1,1$ leta), višina 179,8 cm ($SD = 5,9$ cm), masa 68,0 kg ($SD = 5,9$ kg), indeks telesne mase 21,0 kg/m² ($SD = 1,0$ kg/m²) in amplituda odrida iz polčepa (H_{po}) 0,38 m ($SD = 0,02$ m). Izključitveni kriteriji za sodelovanje so bile poškodbe spodnjih okončin in trupa, ki bi lahko vplivale na izvedbo skokov z bremenami in izvedbo testa Wingate na cikloergometru. Pred izvedbo testiranja so merjenci izpolnili vprašalnik o pripravljenosti na vadbo (Bredin, Gledhill, Jamnik in Warburton, 2013) in podpisali soglasje, da se meritve udeležujejo na lastno odgovornost. Seznanjeni so bili s tem, da lahko od raziskave kadar koli odstopijo brez posledic. Merjenci so dobili navodilo, da dva dni pred meritvami ne izvajajo visoko intenzivne vadbe za moč spodnjih okončin. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (Aresté in Salgueira, 2013).

Postopek meritev in pripomočki

Izvedena je bila znotrajobiskovna veljavnostna študija. Meritve so bile izvedene v Laboratoriju za športno-medicinsko diagnostiko in nutricionistko ter Fiziološkem laboratoriju na Fakulteti za šport. Pred testiranjem so preiskovanci izvedli standardizirano desetminutno ogrevanje, ki je obsegalo kolesarjenje na stacionarnem cikloergometru (2,0 W/kg, 50–70 RPM) in dinamične raztezne vaje za noge in trup. Po ogrevanju smo merjencem v leži na hrbtu izmerili dolžino spodnje ekstremitete (amplitudo odrida iz polčepa, H_{po}) od spodnje zgornje črevnične grčevine do konic prstov ob iztegnjenem kolku, kolenu in gležnju.

Meritve so bile v naključnem zaporedju za vsakega posameznika izvedene na bilateralni pritiskovni plošči (Bilateral force plates, S2P, Ljubljana, Slovenija) s pripadajočo programsko opremo Analysis and Reporting Software (ARS, S2P, Ljubljana, Slovenija) in na cikloergometru (Monark Ergonomic 924, Vansbro, Švedska) s pripadajočo programsko opremo (Monark Test Software, Vansbro, Švedska). Zaporedje meritev (skoki na pritiskovni plošči ali test na cikloergometru) je bilo za vsakega posameznika naključno izbrano, s čimer smo se želeli izogniti sistematični napaki zaradi učinka učenja izvedbe testov ter minimizirati vpliv utrujenosti na končni rezultat.

Anaerobni test Wingate

Izveden je bil 30-sekundni test Wingate (Bar-Or, 1987) na cikloergometru. Uporabljena je bila obremenitev 7,5 % telesne

mase posameznika. Na znak so preiskovanci začeli poganjati kolo s ciljem vztrajnik zvrtni čim hitreje (s čim višjo kadenco) in čim bolj silovito ter vzdrževati moč poganjanja nadaljnjih 30 sekund. S programsko opremo so bile izračunane naslednje spremenljivke: P_{max} [W/kg], P_{avg} [W/kg], P_{drop} znotraj 30-sekundnega testa [W/kg] in relativni P_{drop} znotraj 30-sekundnega intervala [%].

Skoki z dodatnimi bremenami (odnos sila-hitrost-moč)

Izvedeni so bili SJ z dodatnimi bremenami. Dodatna bremena so bila določena relativno, glede na telesno maso posameznika, in sicer: 0 % (plastična palica), 20 %, 60 % in 70 % telesne mase. Število bremen je bilo izbrano glede na izsledke prejšnjih študij (Jančičevič idr., 2019) in je temeljilo na načelu izbire dveh čim bolj različnih intenzivnosti (lahko breme in težko breme) (García-Ramos idr., 2018). Merjenci so dobili navodilo, da se iz stoje spustijo v polčep (kot v kolenu in kolku 90°) in začetni položaj zadržijo vsaj 2 sekundi. Začetni položaj, predvsem globina polčepa in usmerjenost pogleda, je skrbno nadzoroval merilec. Iz mirovanja so merjenci na merilčev znak izvedli odrid z iztegnitvijo v kolku, kolenu in gležnju, z namenom odriniti čim hitreje in čim višje. Pri vsakem pogoju je bilo izvedenih 3–5 skokov z vsaj 30-sekundnim odmorom znotraj pogoja in vsaj 2-minutnim odmorom med pogoji. V statistično obdelavo smo vključili skok, pri katerem je merjenec skočil najvišje (Petrigna idr., 2019). Višina skoka je bila izračunana iz vertikalne hitrosti težišča telesa, izračunane iz impulza F na podlago v času odrida (Linthorne, 2001). Za vsak skok posebej pri vsakem izmed štirih pogojev je bila nato s programsko opremo ARS – s tovarniškimi nastavitvami obdelave krivulj – odčitana povprečna F in povprečna v v času odrida. Vrednosti so bile skupaj z amplitudo odrida prenesene v namensko pripravljeno Excelovo tabelo (Microsoft Corporations, Redmond, Washington) (García-Ramos in Jaric, 2017) za analizo skokov z dodatnimi bremenami, t. i. analizo F - v - P (Samozino idr., 2012). Izračunane so bile naslednje spremenljivke: $F0$ [N/kg], $V0$ [m/s], naklon F - v [(N/kg)/(m/s)], P_{max} [W/kg] in odklon od optimalnega odnosa F - v [%] (Samozino idr., 2012).

Metode obdelave podatkov

Za statistično obdelavo podatkov je bil uporabljen računalniški program IBM-SPSS Statistics 25 (IBM, New York, USA). Izra-

čunana je bila opisna statistika za vzorec merjencev in za vse spremenljivke. Normalnost porazdelitve je bila preverjena s Shapiro-Wilkovim testom. Za primerjavo med izhodnimi parametri odnosa $F-v$ pri SJ (P_{max} , naklon $F-v$) in močjo, proizvedeno med testom Wingate (P_{max} , P_{avg} , P_{drop}), je bil uporabljen t-test za odvisne vzorce. Velikost razlik (ω^2) je bila interpretirana glede na naslednjo lestvico vrednosti ω^2 : 0,01 majhna; 0,06 srednja; 0,14 velika razlika (Field, 2013). Za ugotavljanje povezanosti med posameznimi odvisnimi spremenljivkami je bil uporabljen Pearsonov korelacijski koeficient (r). Rezultati so bili interpretirani glede na priporočila (Akoglu, 2018), in sicer: 0,1–0,29 majhna; 0,3–0,49 srednja; 0,5–0,69 velika; 0,7–0,89 zelo velika; 0,9–0,99 popolna povezanost. Pri ugotavljanju povezanosti med naklonom $F-v$ in P_{drop} pri testu Wingate ter odklonom od optimalnega odnosa $F-v$ in P_{drop} pri testu Wingate smo zaradi kršene predpostavke normalnosti spremenljivke P_{drop} najprej transformirali podatke z logaritmiranjem, zato da smo s tem zadostili predpostavki normalnosti, in nato uporabili Pearsonov korelacijski koeficient. Statistična značilnost je bila sprejeta ali ovržena na ravni dvostranskega 5-odstotnega tveganja.

Rezultati

Opisna statistika rezultatov meritev skokov iz polčepa in testa Wingate je predstavljena v Tabeli 1. Povprečne vrednosti (M), standardni odkloni (SD), najmanjše (Min) in največje (Max) vrednosti prikazujejo porazdelitev posameznih odvisnih spremenljivk.

V Tabeli 2 je prikazana primerjava med izhodnimi spremenljivkami odnosa $F-v$ pri skoku iz polčepa in močjo, proizvedeno med testom Wingate, s t-testom za odvisne vzorce. Rezultati kažejo statistično značilne razlike ($p < 0,01$) pri vseh treh primerjavah med posameznimi spremenljivkami, in sicer med P_{max} (SJ) in P_{max} pri testu Wingate ($p = 0,000$; $\omega^2 = 0,766$), med P_{max} (SJ) in P_{avg} pri testu Wingate ($p = 0,000$; $\omega^2 = 0,932$) ter med naklonom $F-v$ (SJ) in P_{drop} pri testu Wingate ($p = 0,000$; $\omega^2 = 0,988$).

Tabela 3 prikazuje povezanost med izhodnimi spremenljivkami odnosa $F-v$ pri SJ in P , proizvedeno med testom Wingate. Rezultati kažejo statistično značilno visoko povezanost med P_{max} (SJ) in P_{max} pri testu Wingate ($r = 0,854$; $p = 0,002$), statistično značilno visoko povezanost med P_{max} (SJ) in logaritmiranimi vrednostmi P_{drop} (W) ($r =$

Tabela 1

Opisna statistika spremenljivk skoka iz polčepa in testa Wingate

Test	Spremenljivka	M	SD	Min	Max
SJ	višina SJ (m)	0,28	0,03	0,23	0,33
	višina SJ20% (m)	0,22	0,03	0,18	0,29
	višina SJ60% (m)	0,13	0,03	0,10	0,21
	višina SJ70% (m)	0,12	0,03	0,09	0,18
	F_0 (N)	31,25	3,18	25,36	35,28
	v_0 (m/s)	2,30	0,52	1,79	3,46
	P_{max} (W/kg)	17,66	2,80	13,64	21,91
	naklon $F-v$ ([N/kg]/[m/s])	-14,36	3,87	-19,73	-7,34
	% optimalnosti odnosa $F-v$ (%)	97	27	51	137
W	P_{max} (W/kg)	15,07	2,80	11,71	20,46
	P_{avg} (W/kg)	9,25	0,87	8,15	11,07
	P_{drop} (W/kg)	9,01	3,29	6,18	16,84
	P_{drop} (%)	57,81	11,17	46,89	86,83

Legenda. M – aritmetična sredina; SD – standardni odklon; Min – minimum; Max – maksimum; SJ – skok iz polčepa; W – anaerobni test Wingate; višina SJ – višina skoka iz polčepa; višina SJ20% – višina skoka iz polčepa z dodatnim bremenom 20 % posameznikove telesne mase; višina SJ60% – višina skoka iz polčepa z dodatnim bremenom 60 % posameznikove telesne mase; višina SJ70% – višina skoka iz polčepa z dodatnim bremenom 70 % posameznikove telesne mase; F_0 – največja teoretična sila; v_0 – največja teoretična hitrost; P_{max} – največja teoretična moč; naklon $F-v$ – naklon krivulje sila-hitrost; % optimalnosti odnosa $F-v$ – odklon od optimalnega naklona krivulje sila-hitrost; P_{avg} – povprečna moč; P_{drop} – upad moči.

Tabela 2

Primerjava med izhodnimi spremenljivkami odnosa sila-hitrost pri skoku iz polčepa in močjo, proizvedeno med testom Wingate

Test	Spremenljivka	M	SD	$\bar{d}$	s_d	$SE(\bar{d})$	t	p	ω^2
SJ	P_{max} (W/kg)	17,66	2,80	2,60	1,51	0,48	5,425	0,000	0,766
W	P_{max} (W/kg)	15,07	2,80						
SJ	P_{max} (W/kg)	17,66	2,80	8,41	2,40	0,76	11,095	0,000	0,932
W	P_{avg} (W/kg)	9,25	0,87						
SJ	naklon $F-v$ ([N/kg]/[m/s])	-14,36	3,87	-23,37	2,67	0,84	-27,709	0,000	0,988
W	P_{drop} (W/kg)	9,01	3,29						

Legenda. M – aritmetična sredina; SD – standardni odklon; $\bar{d}$ – razlika med povprečji spremenljivk; s_d – standardni odklon razlike; $SE(\bar{d})$ – standardna napaka razlike; t – testna statistika; p – statistična značilnost; ω^2 – velikost razlik; SJ – skoka iz polčepa; W – anaerobni test Wingate; P_{max} – največja moč; P_{avg} – povprečna moč; naklon $F-v$ – naklon krivulje sila-hitrost; P_{drop} – upad moči.

Tabela 3

Pearsonov korelacijski koeficient med izhodnimi spremenljivkami odnosa sila-hitrost pri skoku iz polčepa in močjo, proizvedeno med testom Wingate

		W		
		P_{max} (W/kg)	P_{avg} (W/kg)	P_{drop} log (W/kg)
SJ	P_{max} (W/kg)	0,854**	0,590	0,788**
	naklon $F-v$ ([N/kg]/[m/s])	0,701*	0,545	0,732*
	% optimalnosti odnosa $F-v$ (%)	-0,655*	-0,514	-0,701*

Legenda. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; SJ – skok iz polčepa; W – anaerobni test Wingate; P_{max} – največja moč; naklon $F-v$ – naklon krivulje sila-hitrost; % optimalnosti odnosa $F-v$ – odklon od optimalnega naklona krivulje sila-hitrost; P_{avg} – povprečna moč; P_{drop} log – logaritmirane vrednosti upada moči.

0,788; $p = 0,007$), statistično značilno visoko povezanost med naklonom $F-v$ (SJ) in P_{max} (W) ($r = 0,701$; $p = 0,024$), statistično značilno visoko povezanost med naklonom $F-v$ (SJ) in logaritmiranimi vrednostmi P_{drop} (W) ($r = 0,732$; $p = 0,016$), statistično značilno zmerno negativno povezanost med % optimalnosti odnosa $F-v$ (SJ) in P_{max} (W) ($r = -0,655$; $p = 0,040$) ter statistično značilno visoko negativno povezanost med % optimalnosti odnosa $F-v$ (SJ) in logaritmiranimi vrednostmi P_{drop} pri testu Wingate ($r = -0,701$; $p = 0,024$). Čeprav v raziskavi nismo dokazali statistično značilne povezanosti med P_{max} (SJ) in P_{avg} pri testu Wingate ($r = 0,590$; $p = 0,073$), med naklonom $F-v$ (SJ) in P_{avg} (W) ($r = 0,545$; $p = 0,104$) ter med % optimalnosti odnosa $F-v$ (SJ) in P_{avg} (W) ($r = -0,514$; $p = 0,128$), rezultati kažejo, da obstaja srednja povezanost med navedenimi spremenljivkami.

Razprava

Cilj raziskave je bil primerjati izhodne spremenljivke odnosa $F-v-P$, izmerjene s skoki z dodatnimi bremenami, s spremenljivkami testa Wingate pri vrhunskih kolesarjih. Ugotovili smo, da se rezultati proizvedene P , izračunani iz skokov z bremenami, statistično značilno razlikujejo od rezultatov, pridobljenih na cikloergometru ($p < 0,01$), vendar med njimi obstaja velika povezanost. S tem smo potrdili hipotezo, da z obema testoma izmerimo največjo mehansko sposobnost nog, vendar pri biomehansko različnih gibanjih (cikličnih oziroma acikličnih). Dodatno smo ugotovili, da je naklon $F-v$ (posledično tudi odklon od $F-v_{opt}$) v veliki meri povezan s P_{drop} v 30-sekundnem testu na cikloergometru, s čimer smo potrdili tudi drugo hipotezo, da sta anaerobna moč in zmogljivost večji pri kolesarjih, ki P_{max} pri skokih z bremenami v večji meri ustvarijo s proizvajanjem velikih F (ne v). Rezultati testiranja odnosa $F-v-P$ nam dajejo dodatne informacije o lastnostih iztegovalk nog, ki jih ne pridobimo s testiranjem P na cikloergometru. Časovno ekonomičen in energijsko varčen protokol merjenja bi lahko v prihodnje pomenil bolj poglobljen pristop k spremljanju lastnosti živčno-mišičnega sistema na celotnem spektru območja F in v in s tem prispeval k podrobnejšemu določanju obremenitev pri vadbi za moč pri kolesarjih.

Pri pregledu razpoložljive literature in raziskav nismo zasledili podrobnejše analize, ki bi se nanašala na primerjanje odnosa $F-v-P$,

izmerjenega s skoki z dodatnimi bremenami, s spremenljivkami testa Wingate. Prav tako v prejšnjih študijah še niso primerjali naklona krivulje $F-v$ (ali optimalnosti naklona $F-v$) s stopnjo anaerobne vzdržljivosti (P_{drop} pri 30-sekundnem testu na cikloergometru). Ugotovljene statistično značilne razlike v proizvedeni P med skoki z bremenami in testom Wingate se ujemajo z ugotovitvami Grossa in Lüthyja (2020), ki sta v svoji raziskavi ugotovila razlike med proizvedeno P pri SJ in 6-sekundnim maksimalnim sprintom na cikloergometru. Razlike razlagata s tem, da je kolesarjenje unilateralno (tj. enostransko) gibanje, medtem ko je za skoke značilno bilateralno (tj. obojestransko) gibanje. Zaradi velikosti razlik domnevata, da na slednje vplivajo še drugi dejavniki, in sicer omejenost razvoja P na cikloergometru zaradi previsoke kadence ter posledično slabše koordinacije gibanja pri pedaliranju. Vandewalle idr. (1987) navajajo, da so razlike v proizvedeni P posledica enkratne bilateralne balistične akcije, medtem ko pri pedaliranju na cikloergometru P_{max} ustreza povprečni P , doseženi med enim vrtljajem. Domnevamo, da je ugotovljena statistično značilna razlika med naklonom krivulje $F-v$ in P_{drop} prav tako posledica razlik v biomehaniki gibanja pri obravnavanih testnih protokolih. Kljub temu, da so bile absolutne razlike v rezultatih testa značilne, smo med spremenljivkama P_{max} (SJ) in P_{max} pri testu Wingate ugotovili visoko povezanost. Ta ugotovitev je v skladu z ugotovitvami številnih raziskav (Gross in Lüthy, 2020; Nikolaidis idr., 2016; Alemdaroğlu, 2012; Çakir-Atabek, 2014; Gross, M. in Gross, 2019; Hautier, Linossier, Belli, Lacour in Arsac, 1996; Doré, Bedu in Van Praagh, 2008). Ravier, Grappe in Rouillon (2004) ter Bertucci in Hourde (2011) v svojih raziskavah niso dokazali povezanosti med P_{max} (SJ) in P_{max} pri testu Wingate, so pa ugotovili statistično značilno povezanost med P_{max} (SJ) in P_{max} , ki ni bila relativizirana s telesno maso posameznika. Več raziskav poroča tudi o statistično značilni povezanosti med P_{max} (SJ) in P_{avg} med testom Wingate (Nikolaidis idr., 2016; Alemdaroğlu, 2012; Çakir-Atabek, 2014). Naši rezultati kažejo srednjo povezanost med omenjenima spremenljivkama. Tako kot navajata Gross, M. in Lüthy (2020), predvidevamo, da je vzrok značilne povezanosti med P_{max} (SJ) in P_{max} pri testu Wingate dejstvo, da je pri obeh testnih protokolih moč proizvedena z istimi mišičnimi skupinami (iztegovalke kolka, kolena in gležnja)

in izračunana v intervalu ene akcije – skok oziroma vrtljaj pedala.

Določanje odnosa $F-v-P$ s skoki z dodatnimi bremenami omogoča podroben vpogled v lastnosti iztegovalk nog, ne le v enem pogoju oziroma pri eni obremenitvi kot pri testu Wingate, temveč v celotnem spektru območja $F-v$. Regresijska krivulja $F-v$ nam daje pomembne podatke o kolesarju, saj lahko na podlagi odstopanja od $F-v_{opt}$ kolesarje razdelimo na dominantne v F (*angl.* force dominant), v v (*angl.* velocity dominant) ali uravnotežene (*angl.* well-balanced) (Jiménez-Reyes idr., 2017). Testiranje s skoki z dodatnimi bremenami je ekonomično, saj je protokol relativno kratek in bistveno manj naporen kot test Wingate. Odnos $F-v-P$ lahko namreč določimo že s samo dvema bremenoma, vendar smo v raziskavi zaradi natančnejšega določanja uporabili štiri. Energijsko varčen testni protokol nam omogoča, da kolesarji v kratkem časovnem obdobju izvedejo test Wingate in skoke brez medsebojnega negativnega vpliva na rezultate. Gre za pomemben prispevek, ki kolesarjem omogoča redno relativno enostavno individualno diagnostiko v bolj specifičnih pogojih (test Wingate) in trenajnih pogojih (vadba za moč z utežmi). Načrtovanje vadbe moči, ki temelji na deficitarni sposobnosti, se je v nekaterih športih že pokazalo za učinkovito. Iz tega sklepamo, da bi z izboljšanjem proizvedene P pri skokih z bremenami izboljšali tudi P , proizvedeno na testu Wingate, in s tem tekmovalno uspešnost kolesarjev. Presečno testiranje kolesarjev z ugotavljanjem dominantnosti v smeri F ali v daje kolesarju tudi temelj pri načrtovanju vadbe za moč. Smiselno je, da vadba za moč v pripravljalnem obdobju temelji na odpravljanju pomanjkljivosti, medtem ko je med tekmovaljem smiselno izkoristiti sposobnost, ki je prevladujoča. Hkrati je lahko kolesarju poznavanje dominantnosti v pomoč tudi pri sprejemanju tehničnih in taktičnih strategij pri vožnji s kolesom (izbira optimalnega prestavnega razmerja, pospeševanja, sprinti itn.).

Raziskava je imela nekaj omejitev, na katere je treba opozoriti. Največja omejitev raziskave je majhen vzorec, ki se kaže v majhni moči raziskave. Na rezultate meritev bi lahko vplivala neizkušenost merjencev, ki so se prvič srečali s testnim protokolom SJ z dodatnimi bremenami. Celotno testiranje je potekalo v enem dnevu, kar bi lahko vplivalo na utrujenost in posledično na rezultate testiranja, kljub temu da je bilo za vsakega posameznika zaporedje testov naključno

izbrano, s čimer smo se želeli izogniti sistematični napaki zaradi učinka učenja izvedbe testov ter minimizirati vpliv utrujenosti na končni rezultat. V prihodnje bi bilo smiselno na velikem vzorcu ponoviti raziskavo in ugotoviti, kako se kolesarji v obravnavanih sposobnostih razlikujejo med seboj in ali je morebiti določen odnos F - v - P povezan z uspešnostjo v kolesarstvu. Glede na odnos F - v - P bi bilo kolesarje smiselno selekcionirati in ciljno usmeriti trening s ciljem optimiziranja odnosa F - v - P . To bi odprlo nove možnosti za raziskovanje odnosa F - v - P na kolesu ter celo za potencialno določanje F - v_{opt} na cikloergometru. S klasičnim testom Wingate to ni mogoče, saj ne omogoča vpogleda v doprinos navora in kadence k skupni P na celotnem spektru območja F in v in je s tem natančno določanje trenaznega bremena za izboljšanje P kolesarjenja v specifičnih pogojih omejeno. Poglavitni cilj nadaljnjih raziskav, ki bi temeljile na dosedanjih izsledkih raziskav odnosa F - v - P s skoki z bremenami, bi lahko bila tudi primerjava odnosa F - v - P , določenega s skoki z dodatnimi bremenami, in istega odnosa, določenega na cikloergometru.

Zaključek

Ugotovili smo, da vrhunski kolesarji proizvedejo različno P pri skokih z bremenami in na cikloergometru, vendar je med rezultati velika povezanost. S testoma torej izmerimo isto živčno-mišično sposobnost iztegovalk nog kolesarjev. Izračun odnosa F - v - P nam daje dodatne informacije o anaerobni moči iztegovalk nog, in sicer: I.) ugotavljanje lastnosti v celotnem spektru območja F in v , II.) določanje dominantne lastnosti kolesarja pri proizvajanju P (F ali v) in III.) anaerobna moč in zmogljivost sta višji pri kolesarjih, ki so dominantni v proizvajanju velikih F . Časovno ekonomičen in energijsko varčen protokol merjenja bi lahko v prihodnje pomenil bolj poglobljen pristop k spremljanju lastnosti živčno-mišičnega sistema na celotnem spektru območja F in v in s tem prispeval k podrobnejšemu določanju obremenitev pri vadbi za moč pri kolesarjih, ob tem pa daje temelj za načrtovanje trenazne/tekmovalne taktike. Raziskave v prihodnje bi morale biti usmerjene v določanje optimalnega doprinosa navora in kadence k skupni P kolesarjenja in preverjanje učinkov treninga z optimizacijo odnosa F - v - P z uspešnostjo v kolesarstvu.

Literatura

- Alcazar, J., Csapo, R., Ara, I. in Alegre, L. M. (2019). On the shape of the force-velocity relationship in skeletal muscles: The linear, the hyperbolic, and the double-hyperbolic. *Frontiers in Physiology*, 10(6), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00769>
- Alcazar, J., Rodríguez-Lopez, C., Ara, I., Alfaro-Acha, A., Mañas-Bote, A., Guadalupe-Grau, A., ... Alegre, L. M. (2017). The Force-Velocity Relationship in Older People: Reliability and Validity of a Systematic Procedure. *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1097–1104. <https://doi.org/10.1055/s-0043-119880>
- Alemдарoğlu, U. (2012). The relationship between muscle strength, anaerobic performance, agility, sprint ability and vertical jump performance in professional basketball players. *Journal of human kinetics*, 31(1), 149–158.
- Aresté, N. in Salgueira, M. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>
- Astorino, T., Baker, J., Brock, S., Dalleck, L., Goulet, E., Gotshall, R., ... Zhou, B. (2011). Power output in trained male and female cyclists during the Wingate test with increasing flywheel resistance. *Journal of Exercise Physiology online*, 14(5).
- Aziz, A. R. in Chuan, T. E. H. (2004). Correlation between Tests of Running Repeated Sprint Ability and Anaerobic Capacity by Wingate Cycling in Multi-Sprint Sports Athletes. *International Journal of Applied Sports Sciences*, 16(1).
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports medicine*, 4(6), 381–394. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704060-00001>
- Bertucci, W. M. in Hourde, C. (2011). Laboratory testing and field performance in BMX riders. *Journal of sports science & medicine*, 10(2), 417. Pridobljeno s <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761846/>
- Bredin, S. S., Gledhill, N., Jamnik, V. K. in Warburton, D. E. (2013). PAR-Q+ and ePARmed-X+: new risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Canadian Family Physician*, 59(3), 273–277.
- Bobbert, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *J Appl Physiol*, 112(2), 1975–1983. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00787.2011>
- Çakir-Atabek, H. (2014). Relationship between anaerobic power, vertical jump and aerobic performance in adolescent track and field athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 14(4), 643. <https://doi.org/10.7752/jpes.2014.04100>
- Doré, E., Bedu, M. in Van Praagh, E. (2008). Squat jump performance during growth in both sexes: comparison with cycling power. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79(4), 517–524. <https://doi.org/10.1080/02701367.2008.10599518>
- García-Ramos, A., Ferliche, 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>
- García-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 & Conditioning Journal*, 40(2), 54–66. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000359>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A. in Jaric, S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sports biomechanics*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1545044>
- 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>
- Gross, M. in Gross, T. (2019). Relationship between Cyclic and Non-Cyclic Force-Velocity Characteristics in BMX Cyclists. *Sports*, 7(11), 232. <https://doi.org/10.3390/sports7110232>
- Gross, M. in Lüthy, F. (2020). Anaerobic Power Assessment in Athletes: Are Cycling and Vertical Jump Tests Interchangeable? *Sports*, 8(5), 60. <https://doi.org/10.3390/sports8050060>
- 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>
- Hautier, C. A., Linossier, M. T., Belli, A., Lacour, J. R. in Arsac, L. M. (1996). Optimal velocity for maximal power production in non-isokinetic cycling is related to muscle fibre type composition. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 74(1-2), 114–118. <https://doi.org/10.1007/BF00376503>
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 126(843), 136–195. <https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
- 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.
23. Jaafar, H., Rouis, M., Attioughé, E., Vandewalle, H. in Driss, T. (2016). A comparative study between the wingate and force-velocity anaerobic cycling tests: Effect of physical fitness. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 48–54. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0063>
 24. Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P. in García-Ramos, A. (2019). 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*, 0(0), 1–23. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1645886>
 25. 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>
 26. 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(15), 1–20.
 27. 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>
 28. Legaz-Arrese, A., Munguía-Izquierdo, D., Carranza-García, L. E. in Torres-Dávila, C. G. (2011). Validity of the Wingate anaerobic test for the evaluation of elite runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 819–824.
 29. Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>
 30. Markovic, G. in Jaric, S. (2007). 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>
 31. 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/ijsp.2015-0638>
 32. Nikolaidis, P. T., Afonso, J., Clemente-Suarez, V. J., Alvarado, J. R. P., Driss, T., Knechtle, B. in Torres-Luque, G. (2016). Vertical jumping tests versus wingate anaerobic test in female volleyball players: the role of age. *Sports*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.3390/sports4010009>
 33. 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>
 34. Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Ferliche, B., Padial, P. in García-Ramos, A. (2018). Evaluation of muscle mechanical capacities through the two-load method: optimization of the load selection. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1245–1253.
 35. Petrigna, L., Karsten, B., Marcolin, G., Paoli, A., D'Antona, G., Palma, A. in Bianco, A. (2019). A review of countermovement and squat jump testing methods in the context of public health examination in adolescence: reliability and feasibility of current testing procedures. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>
 36. Ravier, G., Grappe, F. in Rouillon, J. D. (2004). Application of force-velocity cycle ergometer test and vertical jump tests in the functional assessment of karate competitor. *J Sports Med Phys Fitness*, 44(4), 349–355.
 37. Reid, K. F. in Fielding, R. A. (2012). Skeletal Muscle Power. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(1), 4–12. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e31823b5f13>
 38. 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>
 39. Samozino, P., Morin, J.-B., Hintzy, 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>
 40. Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A. in Morin, J. B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements—Altius. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313–322. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822d757a>
 41. 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>
 42. Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D., Jaric, S., Zivkovic, M. Z., ... Suzovic, D. (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>

Darjan Spudić, mag. kin.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
darjan.spudic@fsp.uni-lj.si