



Jernej Pleša,¹
Žiga Kozinc,^{1,2} Nejc Šarabon^{1,3,4}

Povezanost odnosa sila-hitrost med nalogama navpičnega skoka in sprinta pri odbojkarjih

Izveleček

V zadnjem času se kot uporabna metoda za ocenjevanje sposobnosti športnikov in optimizacijo obremenitev pri treningu uveljavlja vrednotenje odnosa sila-hitrost (angl. force-velocity; FV). Odnos FV omogoča prepoznavanje mehanskih sposobnosti mišično-skeletnega sistema za proizvodnjo sile, hitrosti in moči. V raziskavi smo na vzorcu odbojkarjev preverili povezanost odnosov FV pri a) navpičnem skoku z nasprotnim gibanjem in b) sprintu. V raziskavi je sodelovalo 44 odbojkarjev (starost: $20,8 \pm 4,0$ leta). Preiskovanci so opravili skoke z nasprotnim gibanjem z lastno telesno maso in nadalje progresivno z dodatnimi bremenami (od 20 kg do največ 50–100 kg, glede na individualne sposobnosti). Opravili so še 25-metrске sprinte, pri čemer smo merili tudi vmesne čase, potrebne za izračun odnosa FV. Rezultati kažejo, da med nalogama ni statistično značilnih povezav (razpon r od $-0,008$ do $0,18$; $p > 0,05$) glede spremenljivk odnosa FV. Odsotnost povezav med spremenljivkami nakazuje, da vsaka izmed gibalnih nalog omogoča vpogled v druge, med seboj neodvisne mehanske mišične zmogljivosti. Navpični skok in hitro gibanje v horizontalni smeri sta pomembni komponenti odbojbarske igre, zato je za podrobno oceno mehanske zmogljivosti mišic spodnjega dela telesa pri odbojkarjih priporočljivo ločeno vrednotenje profila FV v eni in drugi smeri. Kljub nakazani praktični uporabnosti odnosa FV pri navpičnem skoku in sprintu bi bile za podrobnejše poznavanje uporabnosti odnosa FV v trenažnem procesu odbojkarjev potrebne nadaljnje študije, ki bi preverjale povezanost med profilom FV pri izbranih gibalnih nalogah in športno specifično zmogljivostjo.

Ključne besede: odbojka, odnos sila-hitrost, navpični skok, sprint



The association between force-velocity profiles in jumping and sprinting tasks in volleyball players

Abstract

The force-velocity (FV) profiling has recently been proposed as a tool to identify the neuromuscular capabilities of athletes and to optimized the training based on the obtained results. The FV relationship allows the identification of the mechanical capabilities of musculoskeletal system to produce force, power and velocity. In this study, we checked the correlations between the variables obtained from the FV relationship in a) countermovement jump and b) sprint, on a sample of volleyball players. Forty-four male volleyball players (age: 20.8 ± 4.0 years) performed countermovement jumps with incremental loads from bodyweight to 50-100 kg (depending on the individual capabilities). Participants also performed 25-meter sprint with split times being recorded for the purpose of FV relationship calculation. Pearson's correlation coefficient showed that there were no statistically significant correlations ($r = 0,008-0,18$; $p > 0,05$) between FV variables in vertical jump and sprint. The absence of correlations suggests that each of the movement tasks provides insight into different, independent mechanical capabilities of the muscles. Both of the movement tasks present important components of volleyball game. Thus for the detailed assessment of mechanical capacity of the lower body muscles in volleyball players, the evaluation of both vertical jump and sprint FV relationship is recommended. Despite the indicated practical applications of the FV relationship in vertical jump and sprint, further research, studying the correlations between FV relationship and sport-specific performance is needed, to know more about the usefulness of FV relationship in volleyball training process.

Key words: volleyball, force-velocity profiling, vertical jump, sprint

¹Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Izola

²Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič, Koper

³InnoRenew CoE, Izola

⁴S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana

■ Uvod

Uspešnost odbojkarja je odvisna od hitrosti in agilnosti gibanja brez žoge ter predvsem višine navpičnega skoka (Kunstlinger, Ludwig in Stegmann, 1987; Giatsis, 2001). Višje ko je igralec sposoben skočiti, večji je njegov potencial za uspešno igro v obrambnih in napadalnih akcijah (Riggs in Sheppard, 2009). Hitro gibanje v kombinaciji s hitrim odzivanjem na senzorne informacije omogoča, da igralci v obrambnih akcijah lažje dosežejo žogo in izvedejo ustrezen odboj. Na odbojkarški tekmi igralci v povprečju izvedejo od 250 do 300 eksplozivnih akcij (skoki, hitre spremembe smeri, padci itd.) (Mattes, Wollesen in Manzer, 2018). Za uspešno izvedbo eksplozivnih akcij mora igralec v čim krajšem času na podlago ustvariti čim več sile (Ziv in Lidor, 2010). Zaradi omenjenih značilnosti so za uspešnost v odbojkarški igri z vidika telesnih sposobnosti pomembne predvsem hitrost, sposobnost proizvodnje visoke moči ter sposobnost vzdrževanja premagovanja ponavljajočih se maksimalnih obremenitev, torej vzdržljivost v hitri moči in hitrosti/agilnosti (Hosler, Morrow in Jackson, 1978; Sattler, Sekulic, Esco, Mahmutovic in Hadzic, 2015).

Z vidika optimizacije telesne priprave se v zadnjem času kot pomemben vidik za ocenjevanje lastnosti športnikov in optimizacijo obremenitev pri treningu navaja vrednotenje odnosa sila-hitrost (angl. force-velocity, FV) (Morin in Samozino, 2016; Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli in Morin, 2017). Odnos FV omogoča prepoznavanje mehanskih sposobnosti mišic za proizvodnjo sile, hitrosti in moči (Jaric, 2015; Samozino idr., 2016; Jimenez-Reyes idr., 2017). Odnos FV je pri večsklepnih gibanjih linearen (Bobbart, 2012), kar nam omogoča enostaven izračun največje teoretične sile (F_0), ki jo je posameznik sposoben proizvesti v izometričnih pogojih, in največje teoretične hitrosti (V_0), ki naj bi jo bil posameznik sposoben ustvariti v pogojih brez kakršnekoli obremenitve (Jaric, 2015). Omenjeni točki določata naklon premice odnosa FV. Bolj ko je posameznik sposoben ustvarjanja visokih sil, bolj bo premica strma, in obratno (če je posameznik učinkovitejši pri ustvarjanju velikih hitrosti, bo premica položnejša) (Jimenez-Reyes idr., 2017). Produkt polovičnih vrednosti spremenljivk F_0 in V_0 predstavlja največjo izhodno moč ($P_{\max}$) (Jaric, 2015).

Zaradi enostavnosti in ekonomičnosti testiranja mehanskih mišičnih zmogljivosti

se odnos FV pogosto vrednoti na različnih večsklepnih gibalnih nalogah, kot sta navpični skok (Jimenez-Reyes idr., 2017) in sprint (Samozino idr., 2016). Odnos FV pri navpičnem skoku vrednotimo z beleženjem sile in hitrosti ob spreminjanju zunanjih obremenitev. Z uporabo enostavne linearne regresije dobimo podatke o odnosu med proizvedeno silo in hitrostjo krčenja ter s tem vpogled v različne parametre (F_0 , V_0 , $P_{\max}$, naklon premice FV) (Jarić, 2015). Po drugi strani odnos FV pri sprintu omogoča prepoznavanje sposobnosti proizvodnje sile v vodoravni smeri v fazi pospeševanja (Samozino idr., 2016). Poleg omenjenih spremenljivk se pri sprintu ocenjuje največje razmerje med vodoravno silo in skupno silo reakcije podlage (angl. maximal ratio of horizontal-to-resultant force, RF), kar omogoča vpogled v mehansko učinkovitost gibanja (Morin, Edouard in Samozino, 2011). Literatura kaže, da vrednotenje profila FV lahko ponudi obsežnejše informacije o značilnostih športnika in pomeni temelj za načrtovanje trenajnega procesa (Jiménez-Reyes idr., 2017; Morin in Samozino, 2016). Izkaže se, da vadba največje jakosti izboljša sposobnost mišic za proizvodnjo sile in s tem poveča F_0 , medtem ko vadba v pogojih velikih hitrosti (vadba hitre moči in pliometrična vadba) izboljša V_0 (Jimenez-Reyes, Samozino in Morin, 2019). Študije kažejo, da je višina skoka v največji meri odvisna od največje moči ($P_{\max}$). Kljub temu lahko s spreminjanjem naklona premice odnosa FV izboljšamo višino skoka neodvisno od sprememb v največji moči (Samozino idr., 2012; Jiménez-Reyes idr., 2017), kar dokazuje pomembno praktično uporabnost odnosa FV za načrtovanje trenajnega programa.

Trenutno edina objavljena študija, ki preverja povezavo med odnosom FV in športno specifično zmogljivostjo pri odbojkarjih, kaže na povezanost med F_0 pri skoku in V_0 pri sprintu s hitrostjo žoge pri udarcu in servisu (Baena-Raya idr., 2021). Študija s tem nakazuje, da so spremenljivke ene in druge naloge vsaj deloma neodvisne in tako neodvisno prispevajo k napovedovanju športno specifične zmogljivosti. V skladu s tem Marcote-Pequeno idr. (2019) na vzorcu nogometašic poročajo le o veliki medsebojni povezavi med navpičnim skokom in sprintom glede $P_{\max}$ ($r = 0,73-0,83$) in zmerno povezavo glede V_0 ($r = 0,53-0,60$). Rezultati študije kažejo na to, da bi $P_{\max}$ lahko bila splošna mera kapacitete spodnjih okončin, medtem ko sta F_0 in V_0 bolj specifični glede na tip naloge. To so v nedavni študiji

na nogometaših podkrepili tudi Junge idr. (2021), saj so opazili močno povezavo med $P_{\max}$ navpičnega skoka in sprinta ($r = 0,73$), medtem ko glede F_0 in V_0 ni bilo povezav med nalogama. Zivkovic idr. (2017) so v svojo študijo vključili navpični skok, kolesarjenje (test Wingate), potisk s prsi in veslanje na klopi. Za $P_{\max}$ so poročali o zmernih do visokih povezavah med nalogami ($r = 0,42-0,83$), medtem ko so bile povezave za F_0 in V_0 manjše ($r < 0,5$).

Kot smo že omenili, se je za uspešnost pri odbojki kot pomemben izkazal odnos FV tako pri navpičnem skoku kot tudi pri sprintu (Baena-Raya idr., 2021). Obenem še ni raziskano, kako visoka je povezanost med posameznimi spremenljivkami odnosa FV med skokom in sprintom pri odbojkarjih. V skladu s tem smo želeli z raziskavo na vzorcu odbojkarjev preveriti povezanost spremenljivk odnosa FV med nalogama navpičnega skoka in sprinta. Poznavanje povezanosti med nalogama je pomembno za prakso, saj bi ob morebitnih močnih povezavah lahko uporabljali le eno nalogo za vrednotenje odnosa FV. V nasprotnem primeru bi bilo smiselno, da se ločeno vrednoti in interpretira obe nalogi. Za študijo smo izbrali populacijo odbojkarjev, saj sta pri odbojki navpični skok in hitro horizontalno gibanje pomembni komponenti igre in treninga (Giatis, 2001; Forthomme, Croisier, Ciccarone, Crielaard in Cloes, 2005; Hedrick, 2007; Riggs in Sheppard, 2009).

■ Metode

Preiskovanci

V raziskavi je sodelovalo 44 odbojkarjev, ki igrajo v prvi in drugi slovenski odbojkarški ligi. Povprečna starost preiskovancev je bila 20,8 leta ($SD = 4,0$ leta), telesna višina 187,8 cm ($SD = 7,7$ cm) in telesna masa 80,8 kg ($SD = 9,0$ kg). Povprečen trenajni staž preiskovancev je bil 10,6 leta ($SD = 4,3$ leta), s frekvenco treningov 5,5 treninga na teden ($SD = 1,4$) oziroma 10,1 ure treninga na teden ($SD = 2,75$). Poleg treningov odbojke so preiskovanci opravljali po dva treninga na teden, namenjena razvoju jakosti in moči v fitnesu. Izključitveni kriterij za sodelovanje je bila težja poškodba v minulih šestih mesecih ali bolečine, ki bi lahko vplivale na izvedbo meritev. Preiskovanci so pred izvedbo meritev podpisali informirano privolitev o sodelovanju, pri čemer je bilo za mlajše od 18 let zahtevano soglasje staršev oz. skrbnikov. Vsi postopki so bili izvedeni v skladu z vlogama, potrjenima na Komisiji Republike Slovenije za medicinsko etiko, od

katerih je bila prva pridobljena za projekt TELASI [L5-1845; št. vloge: 0120-99/2018/5) in druga za izvedbo meritev na športnikih na UP FVZ (št. vloge: 0120-690/2017/8).

Raziskovalni načrt je bil prečno-presečni, pri čemer so preiskovanci meritve opravili v enem obisku. Pred izvedbo meritev so preiskovanci vodeno izpolnili vprašalnik o trenažnem procesu. Po standardiziranem ogrevanju so opravili meritve na štirih postajah v naključnem vrstnem redu: (1) vrednotenje odnosa sila-hitrost pri navpičnem skoku, (2) vrednotenje odnosa sila-hitrost pri sprintu, (3) testi hitre spremembe smeri gibanja (test 505 in skrajšan T-test) ter (4) odbojarsko specifičen skok za napadalni udarec, pri čemer bomo v članku obravnavali zgolj prva dva sklopa testov.

Vrednotenje odnosa sila-hitrost pri navpičnem skoku

Preiskovanci so izvajali navpične skoke z nasprotnim gibanjem na plošči za merjenje sil (Kistler, model 9260AA6, Wintertur, Švica). Pred začetkom meritev smo preiskovancem izmerili dolžino noge (od črevničnega grebena do konice prstov ob iztegnjeni nogi) in višino od tal do črevničnega grebena v počepu (kot v kolenih 90°). Izmerjena višina je bila uporabljena kot referenčna točka za končno globino skoka, ki jo je nadalje nadzoroval merilec. Razpon obremenitve je bil od skoka brez dodatnega bremena (skok s plastično palico) do največjega bremena, s katerim je preiskovanec lahko izvedel tehnično pravičen in varen skok, oziroma dokler višina skoka ni bila nižja od 10 cm (García-Ramos, Pérez-Castilla in Jaric; 2018). Dodatna bremena smo stopnjevali v korakih po 10 kg, z izjemo prvega skoka z obremenitvijo, ki je bil izveden z 20 kg dodatnega bremena (olimpijska palica). Pri vsaki obremenitvi je preiskovanec izvedel dve ustrezni ponovitvi, pri čemer smo v nadaljnjo obdelavo vzeli povprečje obeh ponovitev. Iz pridobljenih podatkov o povprečni sili in povprečni hitrosti pri posameznem bremenu smo pridobili odnos FV z linearno regresijo (vrednosti hitrosti na osi x, vrednosti sile na osi y). Izračunali smo naslednje spremenljivke: F_0 – največja teoretična sila (N/kg), V_0 – največja teoretična hitrost (m/s, m/s/kg), P_{max} – največja moč (W, W/kg), naklon premice FV ($N \times s \times m^{-1} \times kg^{-1}$). Iz podatkov odnosa FV ter dolžine noge in globine počepa smo izračunali še odklon od optimalnega odnosa FV (%) z uporabo namenske tabele v programu Microsoft Excel (Samozino idr., 2012; Morin in Samozino, 2017a).

Vrednotenje odnosa sila-hitrost pri sprintu

Preiskovanci so izvedli pet ponovitev 25-metrskega sprinta, pri čemer so bile laserske celice (Brower Timing Systems, Draper, UT, USA) postavljene na razdalji 0 m, 5 m, 10 m, 15 m in 25 m. Start je bil v stoječem položaju s preferenčno prednjo nogo, 30 cm pred prvim parom celic. Med posameznimi ponovitvami je bilo 3 minute odmora. Čas za posamezno razdaljo je predstavljal zmogljivost šprinta. Na podlagi podatkov za posamezno razdaljo (5 m, 10 m, 15 m in 25 m) smo vrednotili odnos FV (Samozino idr., 2016), pri čemer smo uporabili povprečje petih ponovitev. Z uporabo Excelove tabele (Morin in Samozino, 2017b) smo izračunali F_0 (N/kg), V_0 (m/s), P_{max} (W/kg), naklon premice FV ($N \times s \times m^{-1} \times kg^{-1}$), razmerje med navpično in vodoravno silo

na podlago (RF_{max} , %), delež upada RF_{max} (DRF %) in največjo hitrost (m/s).

Analiza podatkov

Podatke smo analizirali s programoma IBM SPSS Statistics 25 (IBM, New York, USA) in Microsoft Excel 2016 (Microsoft, Washington, ZDA). Za vse parametre smo izračunali opisno statistiko (povprečne vrednosti, standardni odklon, minimum in maksimum). Normalnost porazdelitve podatkov smo preverili s koeficientoma asimetrije in sploščenosti, Shapiro-Wilkovim testom in histogramom. Za ugotavljanje statistične značilnosti medsebojne povezanosti spremenljivk smo uporabili Pearsonov korelacijski koeficient, pri čemer smo rezultate interpretirali kot: 0,1–0,29 majhna povezanost; 0,3–0,49 zmerna povezanost; 0,5–0,69 velika povezanost; 0,7–0,89 zelo velika

Tabela 1

Opisna statistika spremenljivk profila sila-hitrost pri skoku in sprintu

	Spremenljivka	Povprečje	SO	Minimum	Maksimum
FV pri skoku	F_0 (N/kg)	33,00	4,51	25,55	44,65
	V_0 (m/s/kg)	0,05	0,02	0,03	0,10
	P_{max} (W/kg)	33,95	7,02	21,61	53,27
	Naklon FV ($N \times s \times m^{-1} \times kg^{-1}$)	-7,99	2,92	-13,51	-3,24
	Optimalni naklon ($N \times s \times m^{-1} \times kg^{-1}$)	-18,80	2,95	-28,37	-15,84
	Odklon od optim. FV (%)	43,42	18,55	2,00	82,00
FV pri sprintu	F_0 (N/kg)	6,16	0,64	4,67	7,72
	V_0 (m/s)	9,67	0,89	7,72	11,70
	P_{max} (W/kg)	14,79	1,40	11,26	17,75
	Naklon FV ($N \times s \times m^{-1} \times kg^{-1}$)	-0,65	0,11	-0,92	-0,41
	RF_{max} (%)	0,41	0,02	0,36	0,45
	D_{RF} (%)	-0,06	0,01	-0,09	-0,04
	Največja hitrost (m/s)	8,65	0,52	7,25	9,76

Opomba. SO – standardni odklon; F_0 – največja teoretična sila; V_0 – največja teoretična hitrost; P_{max} – največja moč; FV – odnos sila-hitrost; RF_{max} – razmerje med navpično in vodoravno silo na podlago; D_{RF} – upad RF_{max} .

Tabela 2

Korelacije med spremenljivkami odnosa sila-hitrost pri nalogah navpičnega skoka in sprinta

		Spremenljivke FV pri sprintu						
		F_0	V_0	P_{max}	Naklon FV	RF_{max}	D_{RF}	Največja hitrost
Spremenljivke FV pri skoku	F_0	0,07	0,03	0,14	-0,03	0,12	-0,03	0,08
	V_0	-0,02	-0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,01	-0,04
	P_{max}	0,06	-0,02	0,05	-0,04	0,07	-0,04	-0,02
	Naklon FV	-0,02	0,03	-0,01	0,02	-0,03	0,02	-0,01
	Optimalni naklon	0,15	-0,01	0,17	-0,08	0,18	-0,07	0,04
	Odklon od optim.	0,03	0,01	0,06	-0,01	0,06	0,00	0,05

Opomba. F_0 – največja teoretična sila; V_0 – največja teoretična hitrost; P_{max} – največja moč; FV – odnos sila-hitrost; RF_{max} – razmerje med navpično in vodoravno silo na podlago; D_{RF} – upad RF_{max} .

povezanost; 0,9–0,99 popolna povezanost (Akoglu, 2018). Statistična značilnost je bila sprejeta pri stopnji zaupanja $p < 0,05$.

■ Rezultati

Opisna statistika rezultatov meritev – povprečne vrednosti, standardni odkloni (SO), najmanjše (minimum) in največje (maksimum) vrednosti – je predstavljena v Tabeli 1. Tabela 2 prikazuje korelacijske koeficiente med spremenljivkami odnosa FV skoka in sprinta. Med nalogama ni statistično značilnih povezav (razpon r od $-0,08$ do $0,18$; vse $p > 0,05$).

■ Razprava

Namen raziskave je bil preveriti povezanost med posameznimi spremenljivkami odnosa FV med navpičnim skokom in sprintom pri odbojkarjih. Na podlagi rezultatov ugotavljamo, da med nalogama ni statistično značilnih povezav (razpon r od $-0,008$ do $0,18$; $p > 0,05$). Odsotnost povezanosti med nalogama kaže na to, da sta si gibalni nalogi med seboj preveč različni, da bi z vrednotenjem odnosa FV pri zgolj eni izmed teh lahko predvidevali vrednosti spremenljivk FV pri drugi gibalni nalogi. Rezultati kažejo, da z izbranimi nalogama pridobimo neodvisne informacije o značilnostih odbojkarjev.

Dosedanje študije poročajo o močnem linearnem odnosu profila FV pri posameznih gibalnih nalogah (Jaric, 2015; Zivkovic idr., 2017), kot so kolesarjenje (Jaskólska, Goossens, Veenstra, Jaskólski in Skinner, 1990), navpični skok (Čuk idr., 2014), sprint (Samozino idr., 2016), potisk izpred prsi (Sreckovic idr., 2015) in veslanje leže na trebuhu (Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez in Pallares, 2014). Kljub temu, da so višina navpičnega skoka in časi sprinta na različne razdalje v zmerni do visoki korelaciji (Meylan idr., 2009; López-Segovia, Marques, van den Tillaar in González-Badillo, 2011; Marques, Gil, Ramos, Costa in Marinho, 2011; Marcote-Pequeno idr., 2019), v tej študiji nismo zaznali povezav med spremenljivkami FV med nalogama. Medsebojna povezanost spremenljivk odnosa FV med različnimi nalogami v dosedanjih študijah je bila majhna ali zmerna (Zivkovic idr., 2017). V nasprotju z našo študijo Zivkovic in sodelavci (2017) poročajo o tesnih povezavah med $P_{\max}$ pri navpičnem skoku in kolesarjenju ($r = 0,64$) ter med navpičnim skokom in potiskom s prsi ($r = 0,67$), pri če-

mer povezave med F_0 in V_0 niso bile statistično značilne ($p > 0,05$). Eden izmed razlogov za omenjene rezultate bi lahko bila uporaba premajhnih bremen (do 32 kg) za izvedbo navpičnega skoka iz nasprotnega gibanja. Uporaba premajhnih bremen potencialno pomeni večjo napako v skrajnem jakostnem delu odnosa FV (Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padial in García-Ramos, 2018), kar lahko vpliva tudi na vrednosti $P_{\max}$, saj ta predstavlja produkt polovičnih vrednosti F_0 in V_0 (Jaric, 2015). Junge in sodelavci (2021) so v svoji študiji preverjali povezavo med spremenljivkami odnosa FV pri treh različnih gibalnih nalogah, in sicer skoku iz počepa, sprintu in potisku iz kolkov (angl. hip thrust). Poročali so o močni povezavi med $P_{\max}$ navpičnega skoka in sprinta ($r = 0,73$), medtem ko za F_0 in V_0 ni bilo povezav med nalogami. V skladu s tem o močnih povezavah med $P_{\max}$ pri odnosu FV pri navpičnem skoku in sprintu poročajo tudi Marcote-Pequeno idr. (2019) na vzorcu nogometašic $P_{\max}$ ($r = 0,73$ – $0,83$) ter Jimenez-Reyes idr. (2018) na velikem vzorcu ($n = 553$) športnikov iz različnih športnih panog ($r = 0,40$ – $0,82$). Rezultati opisne statistike v naši študiji kažejo, da so bili z vidika odnosa FV preiskovanci izrazito hitrostno dominantni (odklon od optimalnega naklona pri profilu FV pri navpičnem skoku = 2 – 82 %; povprečje = 43 %), kar bi lahko bil eden izmed možnih razlogov za popolno odsotnost povezav med spremenljivkami odnosa FV pri nalogah navpičnega skoka in sprinta. Bolj raznolik vzorec in razpršene vrednosti odklona od optimalnega profila FV bi dali boljši vpogled v morebitno povezanost spremenljivk pri izbranih gibalnih nalogah.

Podatki predhodnih raziskav kažejo na to, da bi spremenljivka $P_{\max}$ lahko bila bolj univerzalna lastnost, prikazana kot nekakšna mera kapacitete spodnjih okončin, medtem ko sta F_0 in V_0 bolj specifični glede na posamezno gibalno nalogo (Zivkovic idr., 2017; Junge idr., 2021; Marcote-Pequeno idr., 2019; Jimenez-Reyes idr., 2018). Trenutno edina objavljena študija, ki je preverjala povezavo med odnosom FV in športno specifično zmogljivostjo pri odbojkarjih, kaže povezanost med F_0 pri skoku in V_0 pri sprintu s hitrostjo žoge pri udarcu in servisu (Baena-Raya idr., 2021). Študija s tem nakazuje, da so spremenljivke ene in druge naloge vsaj deloma neodvisne in tako neodvisno prispevajo k napovedovanju športno specifične zmogljivosti. Nizke povezave, ki jih običajno opazimo med izhodnimi mehanskimi spremenljivkami

odnosa FV, kažejo, da vsaka izmed gibalnih nalog omogoča specifične informacije o spremenljivkah profila FV glede na testirano oziroma uporabljeno gibalno nalogo.

V skladu z rezultati študij na tem področju lahko zaključimo, da so gibalne naloge smerno specifične, kar opazamo tudi pri prilagoditvah na trening (Contreras idr. 2017). Smer gibanja je odvisna od smeri vektorja sile (t. i. teorija vektorjev sil) in je eden od pomembnih ključev načela specifičnosti. Tako z vidika prilagoditev na vadbo kot tudi relevantnosti meroslovja je pomembno upoštevati smer gibanja; počep z dodatnimi bremenami je denimo bolj relevanten za navpični skok kot potisk iz kolkov (Contreras idr. 2017). Na podlagi omenjenih podatkov bi lahko predpostavljali, da je vrednotenje profila FV pri navpičnem skoku bolj relevantno za optimizacijo trenažnega procesa odbojkarja s ciljem izboljšanja dosežne višine v napadu in bloku, medtem ko bi vrednotenje profila FV pri sprintu bilo smiselno z vidika prepoznavanja mehanskih lastnosti za izboljšanje pospeševanja v horizontalni smeri s ciljem hitrejši in ustreznejši postavitve igralca v obrambi. Kljub nakazani praktični uporabnosti odnosa FV pri navpičnem skoku in sprintu bi bile za podrobnejše poznavanje povezanosti med profilom FV pri izbranih gibalnih nalogah in športno specifično zmogljivostjo potrebne nadaljnje študije na tem področju.

Raziskava ima nekaj omejitev, na katere je treba opozoriti. V vzorec preiskovancev so bili vključeni le odbojkarji, zato rezultatov ne moremo posplošiti na odbojkarice in tudi ne na druge športne panoge. V odbojki prevladujejo hitra gibanja v navpični smeri, le manjši delež pomenijo hitra gibanja v horizontalni smeri (Taylor, Wright, Dischiavi in Townsend, 2017). Rezultati bi zato lahko bili precej drugačni, če bi vključili športnike, ki izvajajo gibanja predvsem v horizontalni smeri (npr. skakalci v daljino). V raziskavi smo se osredotočili na povezanost spremenljivk odnosa FV pri dveh različnih gibalnih nalogah, ki sta pomembni komponenti odbojcarske igre. Kljub temu rezultati ne omogočajo vpogleda v to, kako spremenljivke odnosa FV vplivajo na uspešnost igralcev na igrišču. Poleg tega vrednotenje zgolj odnosa FV pri različnih gibalnih nalogah samo po sebi ne omogoča optimizacije telesne priprave športnikov, saj primanjkuje literature na področju povezanosti med odnosom FV pri različnih gibalnih nalogah in športno specifično zmogljivostjo. V prihodnje bi bilo tako smiselno

preveriti povezanost med spremenljivkami odnosa FV in športno specifičnimi zmogljivostnimi testi, kar bi nam omogočalo nadaljnje usmerjanje trenažnega procesa odbojkarjev. Poleg tega je treba omeniti še, da je večina raziskav (vključno z našo) prečno-presečnih in se osredotočajo zgolj na vrednotenje odnosa FV na eni časovni točki, medtem ko spreminjanja spremenljivk odnosa FV v daljšem časovnem obdobju (npr. na več časovnih točkah skozi celotno sezono) ni preverjala še nobena študija. Na tem področju je priložnost za nadaljnje raziskovanje, ki bi omogočalo podrobnejše razumevanje odnosa FV predvsem v kontekstu športno specifične zmogljivosti.

Zaključek

V študiji smo pokazali odsotnost statistično značilnih povezav med spremenljivkami odnosa FV pri navpičnem skoku in sprintu pri odbojkarjih. Rezultati kažejo, da na primeru visokotrenirane homogene športne populacije gibalni nalogi podata različne informacije, kar nam preprečuje, da bi lahko predvidevali vrednosti spremenljivk FV pri drugi gibalni nalogi. Vsaka izmed meritev omogoča vpogled v druge, med seboj neodvisne mehanske mišične zmogljivosti. Odnos FV pri navpičnem skoku v tem oziru omogoča vrednotenje zmogljivosti v navpični smeri, medtem ko FV pri sprintu omogoča vpogled v zmogljivost v horizontalni smeri. Tako navpični skok kot hitro gibanje v horizontalni smeri sta pomembni komponenti odbojcarske igre, zato je za podrobno oceno mehanske zmogljivosti mišic spodnjega dela telesa pri odbojkarju priporočljivo vrednotenje profila FV pri obeh gibalnih nalogah.

Literatura

- Baena-Raya, A., Sánchez-López, S., Rodríguez-Pérez, M. A., García-Ramos, A. in Jiménez-Reyes, P. (2020). Effects of two drop-jump protocols with different volumes on vertical jump performance and its association with the force-velocity profile. *European journal of applied physiology*, 120(2), 317–324.
- Baena-Raya, A., Soriano-Maldonado, A., Rodríguez-Pérez, M. A., García-de-Alcaraz, A., Ortega-Becerra, M., Jiménez-Reyes, P. in García-Ramos, A. (2021). The force-velocity profile as determinant of spike and serve ball speed in top-level male volleyball players. *PLoS one*, 16(4), e0249612.
- Bobbett, M. F. (2012). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic?. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 112(12), 1975–1983.
- Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., McMaster, D. T., Reyneke, J. H. in Cronin, J. B. (2017). Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *Journal of strength and conditioning research*, 31(4), 999–1008.
- Cuk, I., Markovic, M., Nedeljkovic, A., Ugarkovic, D., Kukolj, 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), 1703–1714.
- Forthomme, B., Croisier, J. L., Ciccarone, G., Crielaard, J. M. in Cloes, M. (2005). Factors correlated with volleyball spike velocity. *American Journal of Sports Medicine*, 33(10), 1513–1519.
- 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(3), 274–289.
- Giatsis, G. (2001). Jumping quality and quantitative analysis of beach volleyball game. V S. Tokmakidis (ur.), *9th International congress on physical education and sport* (str. 95). Komotini, Grčija.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M. in Kraemer, W. J. (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 5(3), 116–120.
- Hedrick, A. (2007). Training for High Level Performance in Women's Collegiate Volleyball: Part I Training Requirements. *Strength and Conditioning Journal*, 29(6), 50.
- Hosler, W. W., Morrow, J. R. in Jackson, A. S. (1978). Strength, anthropometric, and speed characteristics of college women volleyball players. *Research quarterly*, 49(3), 385–388.
- Jaric, S. (2015). Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks. *International journal of sports medicine*, 36(9), 699–704.
- Jaskólska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskólski, A. in Skinner, J. S. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *International journal of sports medicine*, 20(3), 192–197.
- 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.
- 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.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., Brughelli, M. in Morin, J. B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Badillo, J. J. in Morin, J. B. (2017). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International journal of sports physiology and performance*, 12(1), 36–43.
- Junge, N., Lundsgaard, A., Hansen, M. F., Samozino, P., Morin, J. B., Aagaard, P., Contreras, B. in Nybo, L. (2021). Force-velocity-power profiling of maximal effort sprinting, jumping and hip thrusting: Exploring the importance of force orientation specificity for assessing neuromuscular function. *Journal of sports sciences*, 1–8. Advance online publication.
- Kunstlinger, U., Ludwig, H. G. in Stegemann, J. (1987). Metabolic changes during volleyball matches. *International journal of sports medicine*, 8(5), 315–322.
- Lockie, R. G., Post, B. K. in Dawes, J. J. (2019). Physical Qualities Pertaining to Shorter and Longer Change-of-Direction Speed Test Performance in Men and Women. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(2), 45.
- López-Segovia, M., Marques, M. C., van den Tillaar, R. in González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *Journal of human kinetics*, 30, 135–144.
- Marcote-Pequeno, R., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Hernández, J. M., Gómez, M. Á. 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.
- Marques, M. C., Gil, H., Ramos, R. J., Costa, A. M. in Marinho, D. A. (2011). Relationships between vertical jump strength metrics and 5 meters sprint time. *Journal of human kinetics*, 29, 115–122.
- Mattes, K., Wollesen, B. in Manzer, S. (2018). Asymmetries of maximum trunk, hand, and leg strength in comparison to volleyball and fitness athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 32(1), 57–65.
- Meylan, C., McMaster, T., Cronin, J., Moham-mad, N. I., Rogers, C. in Deklerk, M. (2009). Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and

- change-of-direction performance. *Journal of strength and conditioning research*, 23(4), 1140–1147.
26. 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.
27. Morin, J.-B. in Samozino, P. (2017a). JUMP FVP profile spreadsheet. Pridobljeno s https://www.researchgate.net/publication/320146284_JUMP_FVP_profile_spreadsheet
28. Morin, J.-B. in Samozino, P. (2017b). A spreadsheet for Sprint acceleration Force-Velocity-Power profiling. Pridobljeno s <https://jbmorin.net/2017/12/13/a-spreadsheet-for-sprint-acceleration-force-velocity-power-profiling/>
29. Morin, J. B., Edouard, P. in Samozino, P. (2011) Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and science in sports and exercise* 43, 1680–1688.
30. Paule, K., Madole, K., Garhammer, J., Lacourse, M. in Rozenek, R. (2000). Reliability and validity of the T-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J Strength Cond Res* 14: 443–450. DOI:10.1519/00124278-200011000-00012
31. 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.
32. Riggs, M. P. in Sheppard, J. M. (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the countermovement and squat jump. *Journal of human sport and exercise* 4(3), 221–236.
33. Samozino, P., Rejc, E., di Prampero, P. E., Belli, A. in Morin, J.-B. (2014). Force-Velocity Properties' Contribution to Bilateral Deficit during Ballistic Push-off. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 46(1), 107–114.
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.
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 and Science in Sports and Exercise* 44, 313–322.
36. Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E. in Pallarés, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International journal of sports medicine*, 35(3), 209–216.
37. Sassi, R. H., Dardouri, W., Yahmed, M. H., Gmada, N., Mahfoudhi, M. E. in Gharbi, Z. (2009). Relative and absolute reliability of a modified agility T-test and its relationship with vertical jump and straight sprint. *Journal of strength and conditioning research*, 23(6), 1644–1651.
38. Sattler, T., Sekulic, D., Esco, R. M., Mahmutovic, I. in Hadzic, V. (2015). Analysis of the association between isokinetic knee strength with offensive and defensive jumping capacity in high-level female volleyball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(5), 613–618.
39. Sheppard, J. in Young, W. (2006, september). Agility literature review: classifications, training and testing. *Journal of sports sciences*, 24(9), 919–32.
40. 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), 1779–1787.
41. Taylor, J. B., Wright, A. A., Dischiavi, S. L., Townsend, M. A. in Marmon, A. R. (2017). Activity Demands During Multi-Directional Team Sports: A Systematic Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(12), 2533–2551.
42. Ziv, G. in Lidor, R. (2010). Vertical jump in female and male volleyball players: a review of observational and experimental studies. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 20(4), 556–567.
43. Zivkovic, M. Z., Djuric, S., Cuk, I., Suzovic, D. in Jaric, S. (2017). Muscle Force-Velocity Relationships Observed in Four Different Functional Tests. *Journal of human kinetics*, 56, 39–49.

prof. dr. Nejc Šarabon
Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede
o zdravju
nejc.sarabon@fvz.upr.si