



Darjan Spudić,
Špela Pavlin, Neža Nograšek, Igor Štirn

Vpliv indeksa dinamične moči na odzivne in sprinterske sposobnosti športnikov

Izvleček

Indeks dinamične moči (*IDM*), pogosto imenovan tudi dinamični primanjkljaj moči ali primanjkljaj hitre moči, je spremenljivka, ki izraža razmerje med največjo silo reakcije podlage pri izvedbi balističnega gibanja in največjo silo reakcije podlage pri izvedbi največje hotene izometrične kontrakcije (*NHIK*). Namen naše študije je bil preveriti povezanost med spremenljivkami *NHIK* in *IDM* spodnjih ekstremitet s spremenljivkami odzivne moči in časom sprinta na 10 m in 30 m. Študenti Fakultete za šport ($n = 43$) so izvedli teste *NHIK* za iztegovalke nog, teste odzivne moči in sprint na 30 m. Izračunani so bili *IDM* iz kombinacij med največjimi silami pri balističnih nalogah in največjimi silami pri *NHIK*. Glavna ugotovitev naše študije je, da med *IDM* in odzivnimi ter sprinterskimi sposobnostmi športnikov ni linearne povezanosti, obstaja pa linear-na povezanost med odzivnimi in sprinterskimi sposobnostmi ter testi *NHIK*. Na podlagi rezultatov naše študije lahko zaključimo, da *IDM* ne predstavlja uporabne mere za napovedovanje odzivnih in sprinterskih sposobnosti športnikov. V večji meri so se za napovedovanje višine skoka in časa sprinta kot uporabne izkazale spremenljivke *NHIK*, predvsem izvedba izometričnega vlečenja olimpijske ročke in izometričnega polčepa, ki samostojno pojasnita od 21 do 50 % variance rezultatov višine skokov in od 16 do 40 % variance rezultatov sprinta na razdalji 30 m. Čeprav v študiji nismo preiskovali vpliva vadbe na spremembo *IDM*, je zaradi majhnega deleža pojasnjene variance odzivnih in sprinterskih sposobnosti (ki se sicer pojavljajo v športih) s širokim spektrom uporabljenih spremenljivk *IDM* učinkovitost načrtovanja vadbenega procesa na podlagi *IDM* vprašljiva in posledično potrebna nadaljnega raziskovanja.

Ključne besede: balistični trening, vadba za moč, testiranje, moč, veljavnost



Influence of the Dynamic Strength Index on Jumping and Sprinting Performances in Athletes

Abstract

The dynamic strength index (*DSI*), also known as dynamic strength deficit or explosive strength deficit, is a variable that represents the relationship between an athlete's ballistic peak force and maximum voluntary isometric contraction test force (*MVIC*). The purpose of this study was to evaluate the correlations between *MVIC* and *DSI* variables on jumping and sprinting performances. The study encompassed the testing of Physical Education students ($n = 43$). They performed ankle extensions, half-squats and deadlift *MVIC* tests, vertical jump tests, and 30-m sprint tests. *DSIs* were calculated between the combinations of the force obtained in the ballistic tests and the force obtained in the *MVIC* tests. We found no linear correlations between *DSI* and jump or sprint performances. On the contrary, linear correlations were found between jump and sprint performances and *MVIC* test results. Based on the results of our study, we can conclude that *DSI* cannot be used as a predictive metric for jump and sprint performances. We found higher predictive values for jump and sprint performance among *MVIC* tests. The isometric olympic bar pull test independently explained 21 to 50 % of the variability in jump performances and the isometric half-squat tests independently explained 16 to 40 % of the variability in sprint performances. Given the low predictive values of the broad range of calculated *DSI* variables for jumping and sprinting performances (which are the main components of sport successfulness), *DSI*-based training is questionable and should be further explored.

Keywords: ballistic training, strength training, assessment, power, validity

Uvod

Indeks dinamične moči (*IDM*, angl. dynamic strenght index), pogosto imenovan tudi primanjkljaj dinamične moči (angl. dynamic strength deficit) oziroma primanjkljaj hitre moči (angl. explosive strength deficit), je spremenljivka, ki izraža razmerje med največjo silo reakcije podlage pri izvedbi balističnega gibanja in največjo silo reakcije podlage pri izvedbi največje hotene izometrične kontrakcije (*NHIK*) (Slika 1) (Thomas, Jones, in Comfort, 2015). Primer balistične naloge najpogostejše predstavlja skok z nasprotnim gibanjem (*CMJ*), primer izometrične naloge pa izometrično vlečenje olimpijske ročke (*IVOR*) s sredine stegenice (angl. isometric mid-thigh pull). Čeprav gre za razmerje v silah, se v literaturi *IDM* povezuje s primanjkljajem hitre moči športnika.

Moč kot gibalno sposobnost lahko z mehanskega vidika podrobneje opredelimo kot sposobnost mišic za proizvodnjo sile, hitrosti ali njunega produkta (*P*) (Strojinik, 2017). Moč mišic z mehanskega vidika torej ni enovita sposobnost. Sila, ki jo lahko proizvede mišica, je omejena s hitrostjo krčenja mišice in obratno. Večja kot je hitrost krčenja mišice, nižjo silo 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 sili oziroma na drugi strani največji hitrosti krčenja mišice. Gre za mehansko mišično lastnost, ki je odvisna od morfoloških in fizioloških dejavnikov. Oblika krivulje sila-hitrost neposredno določa tudi odnos moč-hitrost. Le-ta vrh doseže v odvisnosti

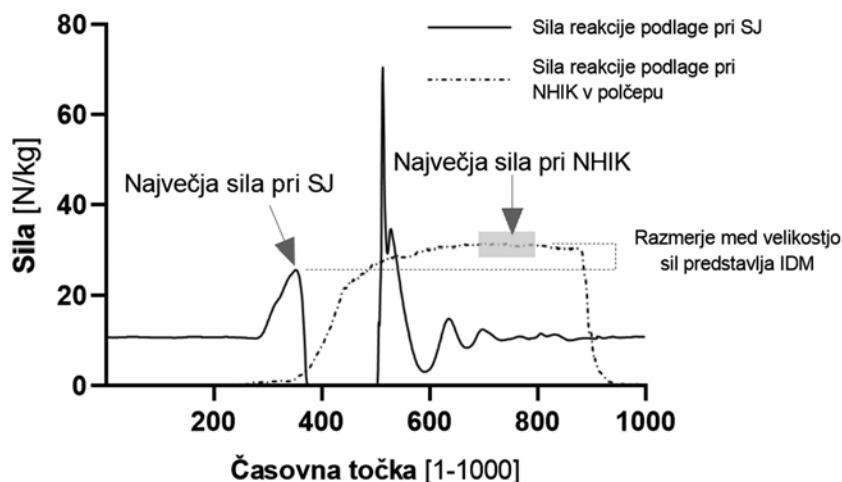
od ukrivljenosti in absolutnih vrednosti krivulje sila-hitrost. Ugotovljeno je bilo, da lahko dva posameznika pri določenem gibanju ustvarita isto mehansko moč (*P*; [W]), vendar je doprinos sile ali hitrosti lahko drugačen. Iz tega je sledilo spoznanje, da poleg absolutne *P*, amplitude giba (globine počepa in posledično opravljene poti ob odzivu), odzivnega kota in telesne mase posameznika (Jaric, 2009, 2013; Markovic, 2007b, 2007a; Pazin, 2013) na višino skoka ali sprintersko uspešnost vpliva tudi strmina naklona krivulje sila-hitrost (Samozino, 2012) – torej relativni doprinos sile oziroma hitrosti k največji *P*. V preteklosti je veljalo prepričanje, da je za verodostojen vpogled v celoten spekter lastnosti mišic sila-hitrost pri večsklepnem balističnem gibanju (skoki) potrebno meritve izvesti z vsaj petimi različnimi dodatnimi bremenami. V zadnjih letih pa se je izkazalo, da je za verodostojen vpogled v odnos sila-hitrost mišic iztegovalk nog (npr. skok iz polčepa [*SJ*], *CMJ*) in iztegovalk rok (npr. vodoravni priteg ali potisk s prsi) (Garcia-Ramos, 2018) dovoljšna izvedba testiranja samo z dvema bremenoma (angl. two-point ali two-load method) (García-Ramos, 2021; Janicijevic, 2020; Pérez-Castilla, 2018), pri čemer je bistvena standardizacija pogojev merjenja (Covic, 2019; García-Ramos, 2017; Janicijevic, 2020).

V kontekstu mehanskega vidika moči s spremenljivko *IDM* izračunamo razmerje med zmožnostjo mišic za proizvodnjo velike sile pri ničti hitrosti in zmožnostjo mišic za proizvodnjo sile pri največji hitrosti gibanja, ki jo je športnik sposoben proizvesti

z lastno telesno maso (npr. pri *SJ* ali *CMJ*). Torej gre za poenostavljeno vrednotenje mehanskih lastnosti mišic, ki v primerjavi z ocenjevanjem celotnega odnosa sila-hitrost zajame samo dve vrednosti hitrosti (ki ju sicer v rezultatih ne izrazimo). Po drugi strani z *IDM* dobimo še informacijo o sili (*N*), ki jo lahko športnik proizvede v kratkem časovnem oknu (300–400 ms), torej za čas trajanja balističnega gibanja (Kawamori in Haff, 2004).

Velika mišična *P* je bistvena predispozicija športne uspešnosti. Ugotovljeno je, da je mišična *P* pozitivno povezana z učinkovitostjo in/ali uspešnostjo izvajanja funkcionalnih gibalnih nalog, ki se pojavljajo v športu (skoki, sprinti, spremembe smeri in meti). Z vidika kratkoročne in dolgoročne optimizacije trenajnega procesa se izkaže, da je bistvenega pomena pri načrtovanju vadbe za razvoj velike *P* določitev deficitarne mehanske lastnosti mišic (razvoj sile in/ali razvoj hitrosti) in pozneje specifična usmeritev vadbениh metod v razvoj te. Ker so učinki vadbe za moč hitrostno specifični, je pri vadbi smiselno uporabiti breme in posledično metodo vadbe, s katero v največji meri vplivamo na izboljšanje deficitarne mehanske lastnosti (Cormie, McGuigan in Newton, 2011). Rezultat *IDM* torej lahko predstavlja izhodišče za vadbo moči, saj nižji indeks pomeni, da športnik proizvede relativno majhno silo (*N/kg*) pri balistični izvedbi giba v primerjavi z izometrično izvedbo giba, in obratno, višji indeks pomeni, da športnik proizvede relativno veliko silo (*N/kg*) pri balistični izvedbi giba v primerjavi z izometrično izvedbo giba. V literaturi je logika opredeljena tudi kot izkoristek potenciala športnika za razvoj sile pri izvedbi funkcionalnega gibanja (torej balistične akcije, ki se pojavlja v športu) (Sheppard, Chapman in Taylor, 2011). Indeks, manjši od 0,60, je indikator, da mora športnik trenajne metode v večji meri usmeriti v razvoj hitre moči (balistična gibanja), in obratno, razmerje, večje od 0,80, je indikator, da mora športnik trenajne metode v večji meri usmeriti v razvoj mišic za proizvodnjo velikih sil (Sheppard idr., 2011).

IDM se je izkazal kot veljavna in zanesljiva spremenljivka pri rekreativnih, univerzitetnih in elitnih športnikih. Je tudi uporabno orodje za ocenjevanje in spremljanje prilagoditev na trening za moč (Comfort idr., 2018; Sheppard idr., 2011). Kot zanesljive kombinacije vaj med balistično in izometrično izvedbo so se izkazale (a) *CMJ/IVOR* (Weiss, Fry in Relyea, 2002), (b) *SJ/IVOR* (Thomas idr., 2015) in (c) soročni sun leže



Slika 1. Prikaz izvedbe gibalnih testov

Opombe. *SJ* – skok iz polčepa; *NHIK* – največja hotena izometrična kontrakcija; *IDM* – indeks dinamične moči.

iz klopce/izometrični potisk s prsi (Young, Haff, Newton, Gabbett in Sheppard, 2015).

IDM se je v preteklosti izkazal kot uporabna mera za vrednotenje trenutnih lastnosti živčno-mišičnega sistema v pogojih izometrične in izotonične kontrakcije ter za longitudinalno spremljanje športnikovih zmogljivosti v različnih obdobjih trenajnega procesa. Ugotovljeno je bilo tudi, da je metoda uporabna kot sredstvo za načrtovanje vadbenega procesa. V literaturi najdemo zelo različne metodološke pristope k računanju *IDM* – najpogostejše uporabljena metoda je razmerje med največjo silo na podlago, proizvedeno pri *CMJ*, in največjo silo na podlago, proizvedeno pri *IVOR*. Čeprav je metoda opredeljena kot uporabna, v literaturi primanjkuje študij, ki bi ugotovljale dejanski doprinos izračunanih indeksov k športni učinkovitosti (višini skoka, hitrosti sprinta). Nameni naše študije so bili a) preveriti povezanost med spremenljivkami *NHIK* (največja sila reakcije podlage pri *NHIK* iztegovalk gležnja, iztegovalk nog in iztegovalk kolka) s spremenljivkami odrivne moči (višina skoka *SJ*, *CMJ* in globinskega skoka [*DJ*]) ter časom sprinta na 10 m in 30 m, b) preveriti povezanost med *IDM* spodnjih ekstremitet s spremenljivkami odrivne moči in časom sprinta ter c) ugotoviti doprinos posamezne spremenljivke *NHIK* oziroma *IDM* k spremenljivkam odrivne moči in času sprinta. Domnevali smo, da je med spremenljivkami *NHIK*, odrivne moči in časom sprinta statistično značilna povezava. Prav tako smo predvidevali, da je statistično značilna povezava med izračunanimi *IDM*, spremenljivkami odrivne moči in časom sprinta. Na podlagi tega, da pri izračunu spremenljivk *IDM* v obzir vzamemo izometrične in izotonične lastnosti mišic pri izvedbi večsklepnega gibanja, smo domnevali, da s spremenljivkami *IDM* pojasnimo večji delež variance odvisnih spremenljivk odrivne moči in časa sprinta kot samo s spremenljivkami *NHIK*. Predvidevali smo tudi, da bomo največji delež variance pri spremenljivkah odrivne moči opisali z *IDM* – izračunanim med največjo silo na podlago pri *SJ* in *IVOR*, medtem ko bomo največji delež variance pri času sprinta opisali z *IDM* med silo na podlago pri *DJ* in izometričnim vzponom na prste.

Metode

Preiskovanci

V raziskavi je prostovoljno sodelovalo 43 študentov Fakultete za šport. Povpreč-

na starost preiskovancev je bila 23,6 leta ($SD = 2,8$ leta), višina 173,9 cm ($SD = 9,1$ cm), masa 71,1 kg ($SD = 13,3$ kg), indeks telesne mase $23,3 \text{ kg/m}^2$ ($SD = 2,8 \text{ kg/m}^2$). Izključitveni kriteriji za sodelovanje so bile kakršnekoli poškodbe spodnjih okončin in trupa, ki bi lahko vplivale na izvedbo *NHIK*, *SJ*, *CMJ*, *DJ* in sprinta na 30 metrov. Pred izvedbo testiranja so merjenci izpolnili vprašalnik o pripravljenosti na vadbo (Bredin, Gledhill, Jamnik in Warburton, 2013) in podpisali soglasje, da se meritev udeležujejo na lastno odgovornost. Seznanjeni so bili s tem, da lahko od raziskave kadarkoli 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 (WHO, 2013).

Postopek meritev in pripomočki

Izvedena je bila prečno-presečna študija. Meritve so bile izvedene v Kineziološkem laboratoriju in dvorani Grintovec na Fakulteti za šport v Ljubljani. Pred izvedbo testiranja so preiskovanci izvedli standardizirano desetminutno ogrevanje, ki je vključevalo kolesarjenje na stacionarnem cikloergometru ($2,0 \text{ W/kg}$, $50\text{--}70 \text{ RPM}$) in dinamične raztezne vaje za noge in trup. 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 z laserskim merilnikom (Artech LDM 301, Rostock, German) s karakteristikami, ki jih je podrobno opisal Planjšek s sodelavci (2013). Zaporedje meritev (testi *NHIK*, *SJ*, *CMJ*, *DJ* in sprint na 30 m) je bilo za vsakega posameznika izbrano naključno, s čimer smo se želeli izogniti sistematični napaki zaradi učinka učenja izvedbe testov ter minimizirati vpliv utrujenosti na končni rezultat.

Skoki na pritiskovni plošči

Na pritiskovni plošči so bili izvedeni *SJ*, *CMJ* in *DJ* (Slika 2). Pri *SJ* so merjenci 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 merilec skrbno nadzoroval. Iz mirovanja so merjenci na merilčev znak izvedli odriv z iztegnitvijo v kolku, kolenu in gležnju, s ciljem odriniti se čim hitreje in čim višje. Pri *CMJ* so preiskovanci dobili navodilo, da se iz mirovanja v pokončni

stoji s stopali, postavljenimi v širini bokov, začnejo čim hitreje spuščati v polčep (do položaja upogiba v kolku in kolenu 90°), aktivno zavirati navpično gibanje navzdol in čim hitreje preiti iz faze spuščanja v fazo navpičnega dviganja – s ciljem odriniti se čim hitreje in čim višje (McMahon, Suchomel, Lake in Comfort, 2018). Pogled je bil usmerjen naprej in dlani so bile ves čas izvedbe testa v bokih. Globino navpičnega spusta je skrbno nadzoroval merilec. *DJ* so preiskovanci izvajali s 25 cm visoke skrinje. Pred izvedbo skoka so preiskovanci mirovali na skrinji v pokončni stoji s stopali, postavljenimi v širini bokov. Pogled je bil usmerjen naprej in dlani so bile ves čas izvedbe testa v bokih. Na znak merilca so preiskovanci stopili na rob skrinje, eno nogo prednožili dol in se nato spustili z višine na sredino pritiskovne plošče. Prednožena noga je bila individualno izbrana na prvih meritvah. Pred izvedbo skoka so preiskovanci dobili navodilo, da izvedejo odriv od pritiskovne plošče sonožno, pri čemer naj bodo stopala pred dotikom s podlago toga, trup čvrst in pogled vedno usmerjen v smeri naprej. Prav tako so dobili navodilo, da se od podlage odrinejo čim višje v čim krajšem času (Gollhofer, Strojnik, Rapp in Schweizer, 1992) counter movement jumps (*CMJ*). Verodostojnost izvedbe skoka je merilec spremljal z opazovanjem krivulje sile na podlago v času skoka. Pri vsakem testu je bilo izvedenih 3–5 skokov z vsaj 60-sekundnim vmesnim odmorom. V statistično obdelavo je bil vključen skok, pri katerem je merjenec skočil najvišje (Petrigna idr., 2019). Višina skoka je bila izračunana iz navpične hitrosti težišča telesa, izračunane iz impulza sile na podlago v času odriva (Linthorne, 2001). Posebej za vsak skok je bila nato s programsko opremo ARS – s tovarniškimi nastavitvami obdelave krivulj – odčitana tudi največja relativna sila reakcije podlage (N/kg), pri čemer sila teže ni bila odzeta od skupne sile.

Slika 2 prikazuje testne položaje pri izvedbi testov odrivne moči. Slike A, B in C prikazujejo izvedbo skoka z nasprotnim gibanjem. Sliki B in C prikazujeta izvedbo skoka iz polčepa. Sliki D in E prikazujeta izvedbo globinskega skoka s 25 cm visoke skrinje.

Testi največje hotene izometrične kontrakcije

Največja hotena izometrična kontrakcija je bila izvedena v položaju polčepa (izometričen polčep: **IP**), položaju vlečenja olimpijske ročke (izometrično vlečenje olimpijske

ročke: **IVOR**) in vzpona na prste (izometričen vzpon na prste: **IVP**). Vsi testi so bili izvedeni s pomočjo namensko pripravljene stojne podlage in ročke, na katero so bili nameščeni po dolžini nastavljivi vezni trakovi, ki so za vsakega posameznika omogočali določitev amplitude obsega giba pri posamezni vaji. Na stojno podlago je bila nameščena bilateralna pritiskovna plošča (Bilateral force plates, S2P, Ljubljana, Slovenija). Merjenci so izvedli **NHIK** v polčepu s kotom v kolenu in kolkih 90° (Marchetti idr., 2016; Spudić, Smajla in Šarabon, 2020; Trindade idr., 2020) (Slika 3, A). Kot v kolenu in kolku je bil določen z ročnim goniomerom (Saehan Co., Masan, Korea). **NHIK** v položaju **IVOR** je bila izvedena tako, da je bila ročka nameščena v višini tibialne grčevine, tik pod pogačico. Merjenec je **NHIK** izvedel z ravnim hrbtom in rahlo upognjenimi koleno. Prijem ročke je bil določen z nadprijemom in trakovi za zapestje niso bili uporabljeni (Slika 3, B). Vzpon na prste je bil izveden tako, da so merjenci s sprednjim delom stopala stopili na 4 cm dvignjeno podlago in se ob izvedbi **NHIK** s peto odmaknili od podlage. Amplituda giba je bila določena z ročko na ramenih tako, da je bil ob vzponu na prste na dvignjeni podlagi kot v gležnju 90° (Slika 3, C). Protokol pri vsaki vaji je zajemal progresivno izometrično naprežanje mišic na subjektivno določenih 40, 60 in 80 % **NHIK**. Pri vsaki stopnji je bila izvedena ena ponovitev, ki je trajala pet sekund z vmesnim 30-sekundnim odmorom. Po 60-sekundnem odmoru so bile izvedene tri **NHIK**, pri čemer je preiskovanec dobil navodilo, da postopoma v treh sekundah proizvede čim večjo silo in jo zadrži še nadaljnjih pet sekund. Med ponovitvami je bilo 90 sekund odmora. Ves čas izvedbe je merilec preiskovanca glasno spodbujal. Sila reakcije podlage je bila zajeta s programsko opremo ARS (modul »free measurement«) in obdelana v pripravljenih skriptah v programu Excel (Microsoft Office Excel 2019, Microsoft, Washington, ZDA). V nadaljnjo analizo smo vstopili z največjo relativno vrednostjo sile reakcije podlage na tekočem povprečju sekundnega intervala signala (N/kg), pri čemer sila teže ni bila odzeta od skupne sile.

Slika 3 prikazuje testne položaje pri izvedbi testov največje hotene izometrične kontrakcije. Slika A prikazuje izvedbo v polčepu, slika B v položaju izometričnega vlečenja olimpijske ročke in slika C v položaju vzpona na prste.

Sprint na 30 m

Z laserskim merilnikom je bil izmerjen čas sprinta na 10 m in 30 m po ustaljenih postopkih merjenja (Planjšek idr., 2013). Začetek sprinta (startna črta) je bil določen absolutno s kalibracijo vrednosti signala pot-čas v prostoru. Dodatno je bila startna črta narisana na tla. Prav tako je bila na tla narisana ciljna črta na 30 metrih razdalje od startne črte. Merjenci so dobili navodilo, da iz visokega starta stečejo čim hitreje do 30-metrške oznake. Vsak merjenec je izvedel dva sprinta z vsaj 60-sekundnim vmesnim odmorom. V statistično obdelavo smo vključili sprint, pri katerem je merjenec dosegel najkrajši čas na razdalji 30 m. Signali pot-čas so bili obdelani v namensko pripravljene skripti v programu Excel (Microsoft Office Excel 2019, Microsoft, Washington, ZDA).

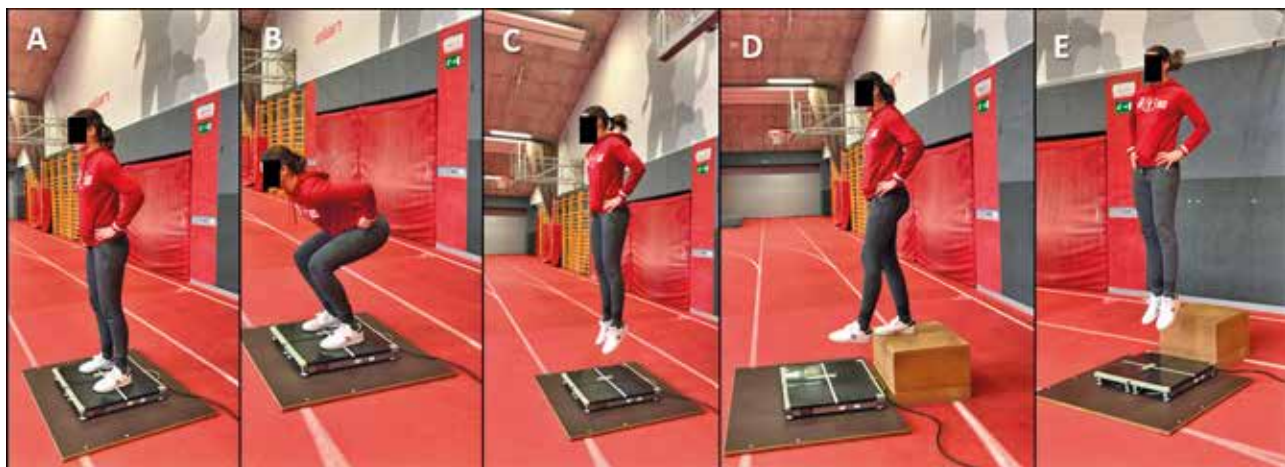
Izračun dinamičnih indeksov moči (IDM)

Iz rezultatov izvedenih testov smo izračunali indekse dinamične moči (**IDM**), in sicer

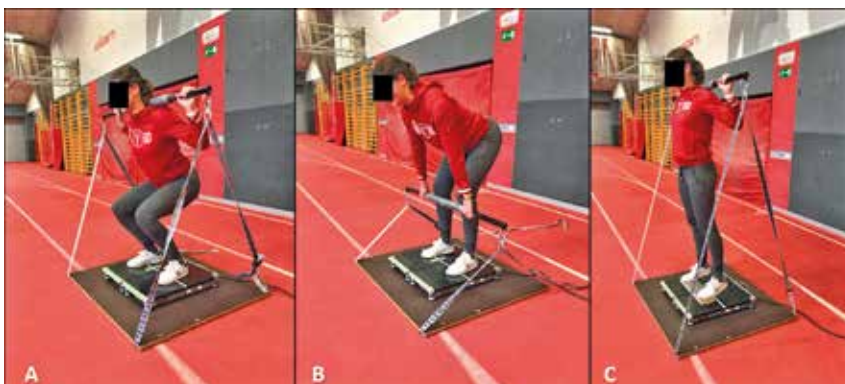
kot razmerje med največjo relativno silo reakcije podlage (N/kg) pri balističnih testih (**SJ**, **CMJ**, **DJ**) in največjo relativno silo reakcije podlage (N/kg) pri izometričnih testih, tj. testih **NHIK** (**IP**, **IVOR**, **IVP**). Dinamični indeksi moči so bili izračunani za kombinacije izvedenih testov, in sicer med a) največjo silo na podlago pri izvedbi **DJ** in največjo silo na podlago pri izometričnem vzponu na prste (**DJ/IVP**), b) največjo silo na podlago pri izvedbi **SJ** in največjo silo na podlago pri izvedbi izometričnega polčepa (**SJ/IP**), c) največjo silo na podlago pri izvedbi **CMJ** in največjo silo na podlago pri izvedbi izometričnega polčepa (**CMJ/IP**), d) največjo silo na podlago pri izvedbi **SJ** in največjo silo na podlago pri izvedbi izometričnega vlečenja olimpijske ročke (**SJ/IVOR**) ter d) največjo silo na podlago pri izvedbi **CMJ** in največjo silo na podlago pri izvedbi izometričnega vlečenja olimpijske ročke (**CMJ/IVOR**).

Statistična analiza

Za statistično obdelavo podatkov je bil uporabljen računalniški program IBM-SPSS Statistics 25 (IBM, New York, USA). Izračunana je bila opisna statistika za lastnosti vzorca preiskovancev in za vse spremenljivke moči. Prisotnost osamelcev in linearna povezanost med spremenljivkami je bila preverjena z razsevnim grafikonom, normalnost porazdelitve spremenljivk je bila preverjena s Shapiro-Wilkovim testom. S Pearsonovim koeficientom korelacije (**R**) je bila ocenjena moč linearne povezanosti vseh neodvisnih in odvisnih spremenljivk. Rezultati so bili interpretirani glede na priporočila v literaturi (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 in 0,9–0,99 popolna povezanost. Za ugotavljanje nepovratnih vrednosti neodvisnih spremenljivk



Slika 2. Prikaz izvedbe testov odzivne moči



Slika 3. Prikaz izvedbe testov največje hotene izometrične kontrakcije

na odvisne je bila izvedena multipla linearna regresija. Pred izvedbo regresijske analize smo dodatno preverili predpostavke o a) normalnosti porazdelitve ostankov ocenjene regresijske funkcije (modul P-P plot; $y = \text{ZRES}$, $x = \text{ZPRED}$), b) homoskedastičnosti ostankov (razsevni grafikon ostankov je pokazal, da je varianca ostankov neodvisna od vrednosti neodvisne spremenljivke), c) neodvisnosti ostankov (korelacije med ostanki so bile preverjene z Durbin-Watsonovim testom in sprejeli smo vrednosti v razponu od 1,5 do 2,5) in d) odsotnosti multikolinearnosti (korelacijski koeficient med neodvisnimi spremenljivkami $< 0,8$ in spremenljivka kolinearnosti »VIF« < 5) (Field, 2017). Ker nam na podlagi prejšnjih raziskav ni uspelo določiti verodostojnih neodvisnih spremenljivk, ki bi vstopale v modele, smo se odločili, da bomo število neodvisnih spremenljivk v posameznem modelu določili z metodo vnaprejšnje izbire (*angl.* forward selection). Metoda v prvem koraku med vsemi neodvisnimi spremenljivkami, ki so na izbiro, najde tisto, ki najboljše opiše odvisno spremenljivko, in sicer na podlagi korelacije med njima (neodvisne spremenljivke – odvisna). Metoda nato nadaljuje dodajanje drugih neodvisnih spremenljivk v model tako, da na vsakem koraku doda spremenljivko, ki največ doprinese k pojasnitvi variance, ki ni bila pojasnjena s prvo spremenljivko. V regresijske modele smo vključili samo spremenljivke, ki so statistično značilno pripomogle k pojasnitvi variance odvisne spremenljivke. Statistična značilnost napovedne vrednosti modela je bila preverjena z analizo variance (ANOVA) in v rezultatih poročamo samo modele, katerih napovedne vrednosti statistično značilno dobro napovejo rezultate odvisnih spremenljivk (testna statistika F-testa je $p < 0,05$). Enačbe modela so v rezultatih prikazane v obliki $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3$, kjer y pred-

stavlja vrednost odvisne spremenljivke, b_0 predstavlja konstanto in $b_{(1-3)}$ predstavljajo smerne koeficiente (tudi β -koeficiente) oziroma strmine naklona posamezne odvisne spremenljivke $x_{(1-3)}$. Z uporabo determinacijskega koeficienta (R^2) smo dobili delež pojasnjene variance modela z odvisnimi spremenljivkami v modelu. Vrednosti popravljenega R^2 so bile uporabljene za primerjavo ustreznosti regresijskih modelov, saj so vrednosti tega popravljenega za število neodvisnih spremenljivk, ki vstopajo v model, s čimer izključimo naključen vpliv teh k pojasnjeni varianci modela. Statistična značilnost je bila sprejeta ali ovržena na ravni dvostranskega 5-odstotnega tveganja ($p < 0,05$).

Rezultati

Tabela 1 prikazuje opisno statistiko testov največje hotene izometrične kontrakcije, funkcionalnih testov in izračunanih dinamičnih indeksov moči.

Tabela 2 prikazuje korelacijo med odvisnimi spremenljivkami (*NHIK* in *IDM*) ter funkcionalnimi testi (10 m, 30 m, *SJ*, *CMJ* in *DJ*). Ugotovili smo, da se statistično značilna korelacija pojavi med rezultati *NHIK* (z izjemo *IVP*) in vsemi funkcionalnimi testi ($p < 0,001$). Pri analizi povezanosti *IDM* s funkcionalnimi testi smo samo pri indeksu *CMJ/IP* ugotovili statistično značilno korelacijo z višino *SJ* in *DJ* ($p < 0,05$).

Tabela 3 prikazuje rezultate multiple regresijske analize, posebej za vsako odvisno spremenljivko (OS). Kot najboljša napovedna spremenljivka rezultatov **sprinta na 10 m** so se izkazali rezultati *IP*, ki pojasnijo 16,1 % variance. Indeks *CMJ/IP* dodatno pojasni še 12,2 % variance. Kot najboljša napovedna spremenljivka rezultatov **sprinta na 30 m** so se izkazali rezultati *IVOR*, ki po-

jasnijo 40 % variance. Indeks *CMJ/IVOR* dodatno pojasni še 14,4 % variance in *SJ/IVOR* dodatnih 6,1 %. Kot najboljša napovedna spremenljivka višine ***SJ*** so se izkazali rezultati *IVOR*, ki pojasnijo 52 % variance. Indeks *SJ/IVOR* dodatno pojasni še 16,3 % variance in *SJ/IP* dodatne 3 %. Kot najboljša napovedna spremenljivka višine ***CMJ*** so se izkazali rezultati *IVOR*, ki pojasnijo 49,2 % variance. Indeks *SJ/IVOR* dodatno pojasni še 19,1 % variance. Kot najboljša napovedna spremenljivka višine ***DJ*** so se izkazali rezultati *IP*, ki pojasnijo 21,9 % variance.

Razprava

V literaturi primanjkuje študij, ki bi ugotovljale doprinos izračunanih *IDM* k športni učinkovitosti (višini skoka, hitrosti teka). Nameni naše študije so bili preveriti povezanost med spremenljivkami *NHIK* spodnjih ekstremitet s spremenljivkami odzivne moči in časom sprinta na 10 m in 30 m, preveriti povezanost med *IDM* spodnjih ekstremitet s spremenljivkami odzivne moči in časom sprinta na 10 m in 30 m ter ugotoviti doprinos posamezne spremenljivke *NHIK* oziroma *IDM* k rezultatom odzivne moči in časa sprinta na 10 m in 30 m. Ugotovili smo, da se statistično značilna korelacija pojavi med rezultati *NHIK* (z izjemo *IVP*) in vsemi funkcionalnimi testi (višina skokov *SJ*, *CMJ*, *DJ* in čas sprinta na 10 m in 30 m), medtem ko je bil samo indeks *CMJ/IP* statistično značilno povezan z višino *SJ* in *DJ*. Na podlagi rezultatov lahko zavrnemo domnevo o povezanosti med *IDM* in rezultati funkcionalnih testov. Ker pri izračunu spremenljivk *IDM* v obzir vzamemo izometrične in izotonične lastnosti mišic pri izvedbi večsklepnega gibanja, smo domnevali, da s spremenljivkami *IDM* pojasnimo večji delež variance odvisnih spremenljivk odzivne moči in časa sprinta kot samo s spremenljivkami testov *NHIK*. Tudi to domnevo lahko zavrnemo, saj je največji delež pojasnjene variance pri testih odzivne moči pojasnila *NHIK* v položaju *IVOR* (izjemoma *IP* pri *DJ*). Tudi domneva, da bomo največji delež variance spremenljivk odzivne moči opisali z indeksom *SJ/IVOR* in največji delež variance rezultatov časa sprinta z indeksom *DJ/IVP*, se je izkazala kot napačna. Največji delež variance časa sprinta na 10 m pojasni *NHIK* v položaju *IP*, največji delež variance časa sprinta na 30 m pa *NHIK* v položaju *IVOR*.

V raziskavi smo zajeli širok spekter *IDM* – širši od drugih raziskav, kjer se *IDM* naj-

Tabela 1
Opisna statistika rezultatov

Tip	Spremenljivka	M (SD)
NHIK	IVP (Nm/kg)	34,81 (3,71)
	IVOR (N/kg)	24,08 (2,73)
	IP (N/kg)	24,23 (3,34)
Funkcionalni testi	10 m (s)	2,11 (0,13)
	30 m (s)	4,91 (0,41)
	SJ (m)	0,25 (0,07)
	CMJ (m)	0,29 (0,08)
	DJ (m)	0,24 (0,07)
IDM	DJ/IVP	1,76 (0,29)
	SJ/IP	0,90 (0,09)
	CMJ/IP	1,00 (0,1)
	SJ/IVOR	0,90 (0,06)
	CMJ/IVOR	1,00 (0,1)

Opombe. M – aritmetična sredina; SD – standardna deviacija; IDM – indeks dinamične moči; NHIK – vrednost največje hotene izometrične kontrakcije; IVP – izometričen vzpon na prste; IVOR – izometrično vlečenje olimpijske ročke; IP – izometričen polčep; 10 m – čas sprinta na 10 m; 30 m – čas sprinta na 30 m; SJ – skok iz polčepa; CMJ – skok z nasprotnim gibanjem; DJ – globinski skok.

pogosteje izračuna samo iz razmerja sil na podlago, proizvedenih pri CMJ in IVOR. Za izračun indeksov iz različnih testov NHIK in odzivne moči spodnjih ekstremitet smo se odločili, da bi dobili vpogled v veljavnost računanja indeksa pri različnih funkcionalnih gibanjih, ki se pogosto pojavljajo v športu, to so skoki in sprinti. Znano je namreč, da pri gibanjih v navpični smeri (SJ, CMJ) in startnem pospešku pri sprintu k uspešnosti v večji meri prispevajo zadnje in sprednje stegenske mišice (González-Badillo, Jiménez-Reyes in Ramírez-Lechuga, 2017), medtem ko k uspešnosti DJ in največji hitrosti sprinta v večji meri doprinesejo mišice skočnega sklepa in iztegovanke kolka (Gollhofer idr., 1992; Inal, Erbuğ in Kotzamanidis, 2012) counter movement jumps (CMJ).

V primerjavi s prejšnjimi študijami (Sheppard idr., 2011) ($IDM = 0,70$) so naši preiskovanci dosegali nadpovprečne vrednosti IDM (npr. $CMJ/IVOR \geq 1,00$), kar teoretično nakazuje, da so bili sposobni v balističnih pogojih razviti večjo silo na podlago, kot je njihova največja izometrična sila. Ker so bile vrednosti indeksov pri vseh visoke in nihče izmed preiskovancev ni dosegel razmerja, nižjega od 0,60, bi to po smernicah Shepparda in sodelavcev (2011) pomenilo, da je deficitarna lastnost preiskovancev v naši

Tabela 2
Povezanost med odvisnimi in neodvisnimi spremenljivkami (Pearsonov korelacijski koeficient)

Tip	Spremenljivka	10 m	30 m	SJ	CMJ	DJ
NHIK	IVP (Nm/kg)	-0,232	-0,399 [†]	0,520 [†]	0,462 [†]	0,353 [†]
	IVOR (N/kg)	-0,396 [†]	-0,636 [†]	0,721 [†]	0,701 [†]	0,430 [†]
	IP (N/kg)	-0,401 [†]	-0,599 [†]	0,658 [†]	0,636 [†]	0,468 [†]
IDM	DJ/IVP	-0,110	-0,031	-0,170	-0,179	0,115
	SJ/IP	0,101	0,188	-0,152	-0,111	-0,297
	CMJ/IP	-0,083	0,017	-0,252*	-0,202	-0,240*
	SJ/IVOR	0,007	0,157	-0,117	-0,078	-0,239
	CMJ/IVOR	-0,193	-0,088	-0,156	-0,120	-0,105

Opombe. [†] $p < 0,001$. * $p < 0,05$. IDM – indeks dinamične moči; NHIK – vrednost največje hotene izometrične kontrakcije; IVP – izometričen vzpon na prste; IVOR – izometrično vlečenje olimpijske ročke; IP – izometričen polčep; 10 m – čas sprinta na 10 m; 30 m – čas sprinta na 30 m; SJ – skok iz polčepa; CMJ – skok z nasprotnim gibanjem; DJ – globinski skok.

Tabela 3
Rezultati regresijske analize z metodo vnaprejšnje izbire

OS	Št.	Enačba modela	R	R ²	p. R ²
10 m	M1	$-0,015 \cdot IP + 2,489$	0,401	0,161	0,142
	M2	$-0,024 \cdot IP - 0,527 \cdot CMJ/IP + 3,219$	0,532	0,283	0,249
30 m	M1	$-0,096 \cdot IVOR + 7,221$	0,636	0,404	0,390
	M2	$-0,122 \cdot IVOR - 1,679 \cdot CMJ/IVOR + 9,538$	0,743	0,553	0,531
	M3	$-0,149 \cdot IVOR - 1,560 \cdot CMJ/IVOR + 2,107 \cdot SJ/IVOR + 11,960$	0,783	0,614	0,585
SJ	M1	$0,017 \cdot IVOR - 0,168$	0,721	0,520	0,509
	M2	$0,025 \cdot IVOR + 0,541 \cdot SJ/IVOR - 0,832$	0,826	0,683	0,667
	M3	$0,025 \cdot IVOR + 0,710 \cdot SJ/IVOR - 0,157 \cdot SJ/IP - 0,784$	0,844	0,713	0,692
CMJ	M1	$0,02 \cdot IVOR - 0,181$	0,701	0,492	0,480
	M2	$0,029 \cdot IVOR + 0,692 \cdot SJ/IVOR - 1,030$	0,827	0,683	0,668
DJ	M1	$0,009 \cdot IP + 0,011$	0,468	0,219	0,201

Opombe. OS – odvisna spremenljivka; Št. – številka modela; R – (multipli) korelacijski koeficient; R² – determinacijski koeficient; p. – prilagojeni; IVOR – izometrično vlečenje olimpijske ročke; IP – izometričen polčep; SJ – skok iz polčepa; CMJ – skok z nasprotnim gibanjem; M(1–3) – model multiple regresije po kriteriju vnaprejšnje izbire.

študiji zmožnost razvoja velikih sil v izometričnih pogojih izvedbe vaj. Razloga za izmerjeno nižjo silo pri izvedbi izometričnih kontrakcij sta dva, in sicer izvedba NHIK s trakovi, s katerimi smo omejili obseg giba, in koti v sklepih, kjer so bile izvedene NHIK. Trakovi omogočajo izvedbo izometrične kontrakcije v vnaprej določeni navpični amplitudi giba, vendar ročka, na katero pritiska merjenec, ni stabilna v horizontalni smeri. To lahko vpliva na manjši razvoj sile v mišicah, predvsem zaradi sočasnega vzpostavljanja ravnotežnega položaja in (posledično) pojava koaktivacije (Latash, 2018; Moras in Vázquez-Guerrero, 2015), ki zniža neto navor, ki se ustvari v posameznem sklepu (Behm, Anderson in Curnew, 2002). Ugotovljeno je bilo tudi, da sta navor v sklepu in aktivacija mišic odvisna od

kota v sklepu, ki pogojuje razmerje med notranjo ročico sklepa in dolžino mišice, pri kateri ustvarja silo (Edman, 1978) – in sicer pri enosklepnih (Ha in Han, 2017) in večsklepnih gibanjih (Mitchell, Argus, Taylor, Sheppard in Chapman, 2017; Papadopoulos, Kalapotharakos, Chimonidis in Gantiraga, 2016). Torej je zelo verjetno, da so bili izometrični testi izvedeni v položajih, ki z vidika razvoja sile pri izbrani dolžini mišic niso bili optimalni. V primerjavi z drugimi raziskavami smo namreč izvedli test IVOR iz nekoliko nižjega začetnega položaja olimpijske ročke (tj. v višini grčevine tibie). Z nižjo postavitvijo olimpijske ročke smo želeli doseči položaj, kjer bo v večji meri k skupni sili na podlago prispevala zadnja kinetična veriga mišic.

Z raziskavo smo ugotovili, da spremenljivke *IDM* v manjši meri pojasnijo varianco spremenljivk odzivne moči in časa sprinta kot največja relativna sila (N/kg), izmerjena s testi NHIK. Rezultati so v skladu z rezultati študije Suchomela in sodelavcev (2020), ki so ugotovili, da je indeks *CMJ/IVOR* v nizki povezanosti z višino *CMJ* ($r = 0,108$) in velikostjo prirastka sile pri *IVOR* ($r = -0,341$). *IDM* v naši raziskavi se izkaže tudi za manj veljavno mero napovedovanja višine navpičnih skokov od izhodnih spremenljivk odnosa *sila-hitrost-moč* pri odbojkarjih (Pleša, Kozinc in Šarabon, 2021). Z odnosom *sila-hitrost-moč* lahko namreč ocenimo zmožnost živčno-mišičnega sistema za proizvajanje sile na celotnem spektru hitrosti krčenja mišic. Rezultati se ujemajo tudi z nedavno študijo Šarabona in sodelavcev (Šarabon, Kozinc in Marković, 2020), ki so ugotovili slabo veljavnost ocenjevanja lastnosti živčno-mišičnega sistema z odnosom *sila-hitrost*, pri čemer v regresijsko analizo vključimo samo dva pogoja (in sicer največjo silo na podlago pri *IP* ter silo in hitrost pri *SJ* ali *CMJ*). Ker izračun *IDM* zajema samo razmerje med največjo izometrično in balistično silo, so rezultati majhnega deleža pojasnjene variance pričakovani, saj zajemajo samo dva pogoja hitrosti, pri katerih mišice spodnjih okončin proizvajajo silo, in ne celotnega spektra območja *sila-hitrost*.

Na najvišjo silo reakcije podlage pri navpičnih skokih vpliva tudi strategija izvedbe skoka, v katero z izračunanim *IDM* nimamo vpogleda. Npr. večja amplituda odziva (globina počepa oziroma nasprotnega gibanja) pri *SJ* in *CMJ* zmanjša največjo silo na podlago, po drugi strani pa lahko poveča višino skoka zaradi podaljšanja časa pospeševanja, večjega impulza sile na podlago in posledično končne hitrosti navpičnega gibanja (McMahon, Jones, Dos'Santos in Comfort, 2017). Največja omejitev *IDM* je, da ne izraža relativne moči (N/kg), temveč le razmerje v največjih silah med dvema tipoma kontrakcije. To pomeni, da imata lahko posameznika kljub precej drugačni doseženi največji sili pri izometričnih in balističnih testih enako vrednost *IDM*. Ta ugotovitev tudi s statističnega vidika pojasni dejstvo, da nismo našli povezanosti med *IDM* in funkcionalnimi sposobnostmi (višina *SJ*, *CMJ*, *DJ* ter čas sprinta na 10 m in 30 m). Z drugimi besedami to pomeni, da imata lahko dva športnika z enako vrednostjo *IDM* popolnoma drugačne rezultate navpičnih skokov in časov sprinta.

Sposobnost za ustvarjanje *P* je v veliki odvisnosti od sposobnosti mišic za proizvajanje velike sile. Največja sila, ki jo je posameznik sposoben proizvesti pri izvedbi specifičnega gibalnega vzorca, predstavlja omejitveni dejavnik *P*. Ker *P* mišic predstavlja produkt med proizvedeno silo in hitrostjo, to pomeni, da je proizvajanje velike *P* pri velikih hitrostih krčenja manj učinkovito, če je trenutna sposobnost posameznika za razvoj velikih sil nizka. Dejstvo potrjujejo raziskave, ki ugotavljajo statistično značilne povezave med testi NHIK (N/kg) in funkcionalnimi testi. Nuzzo, McBride, Cormie in McCaulley (2008) so ugotovili statistično značilno povezanost med največjim bremenom pri eni ponovitvi dviga (1RM) iz počepa in naloga z višino *CMJ*. Baker in Newton (2008) sta prišla do podobnih ugotovitev, le da sta teste NHIK primerjala s časom sprinta na 10 m in 40 m ($r = -0,56$ in $r = -0,72$). Hori idr. (2008) pa so ugotovili, da je velikost bremena pri nalogu statistično značilno povezana s sprintersko ($r = -0,58$) in skakalno uspešnostjo ($r = 0,69$). Ugotovljeno pa je bilo tudi, da smer proizvajanja sile pri izvedbi gibalnega vzorca igra pomembno vlogo pri ocenjevanju mehanskih lastnosti mišic (Jiménez-Reyes, 2018). Ker skoki predstavljajo vertikalno nalogo in sprint vodoravno nalogo, lahko sklepamo, da bi pojasnili večji delež variance rezultatov sprinta s testi NHIK in *IDM* v kolikor bi bili testi NHIK, balistični testi in posledično izračunani *IDM* prilagojeni tako, da se izvedejo z namenom razvoja sile v vodoravni smeri. Iz vidika izvedbe bi bile tovrstne meritve zahtevnejše in je njihova zanesljivost vprašljiva. Potencialna ideja pa predstavlja izziv raziskavam v prihodnosti.

Glavna ugotovitev naše študije je, da med *IDM* in odzivnimi ter sprinterskimi sposobnostmi športnikov ni statistično značilne povezanosti, obstaja pa statistično značilna povezanost med rezultati testov NHIK in odzivnimi ter sprinterskimi sposobnostmi športnikov. Na podlagi rezultatov naše študije lahko z gotovostjo zaključimo, da *IDM* ne predstavlja uporabne mere za napovedovanje funkcionalnih sposobnosti športnikov. V večji meri so se za napovedovanje višine skoka in časa sprinta (hitrosti teka) kot uporabne izkazale spremenljivke NHIK (N/kg), predvsem izvedba *IVOR* in *IP*, ki samostojno pojasnita od 21 do 50 % variance rezultatov višine skokov in od 16 do 40 % variance rezultatov časa sprinta na 30 m. Čeprav v naši študiji nismo preiskovali vpliva vadbe na spremembo *IDM*, je zaradi majhnega deleža pojasnjene variance

funkcionalnih testov s širokim spektrom spremenljivk *IDM* učinkovitost načrtovanja vadbene procesa vadbe moči za spodnje ekstremitete na podlagi *IDM* vprašljiva in posledično potrebna nadaljnega raziskovanja.

Literatura

1. Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18(3), 91–93. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
2. Baker, D. G. in Newton, R. U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare playing rank among professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 153–158. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f9519>
3. Behm, D. G., Anderson, K. in Curnew, R. S. (2002). Muscle Force and Activation Under Stable and Unstable Conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 416–422. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0416](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0416)
4. Bredin, S. S. D., Gledhill, N., Jamnik, V. K. in Warburton, D. E. R. (2013). PAR-Q+ and ePAR-med-X+ New risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 59(3), 273–277. [https://doi.org/10.1016/0368-2048\(92\)80003-Q](https://doi.org/10.1016/0368-2048(92)80003-Q)
5. Comfort, P., Thomas, C., Dos'Santos, T., Suchomel, T. J., Jones, P. A. in McMahon, J. J. (2018). Changes in dynamic strength index in response to strength training. *Sports*, 6(4), 176. <https://doi.org/10.3390/sports6040176>
6. Cormie, P., McGuigan, M. in Newton, R. (2011). Developing Maximal Neuromuscular Power, Part 2. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146.
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. Edman, K. A. P. (1978). The velocity of unloaded shortening and its relation to sarcomere length and isometric force in vertebrate muscle fibres. *J. Physiol.*, 291, 143–159.
9. Field, A. (2017). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. London: SAGE. Pridobljeno s <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
10. 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>

11. 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>
12. 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>
13. Gollhofer, A., Strojnik, V., Rapp, W. in Schweizer, L. (1992). Behaviour of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(4), 283–291. <https://doi.org/10.1007/BF00636213>
14. González-Badillo, J. J., Jiménez-Reyes, P. in Ramírez-Lechuga, J. (2017). Determinant Factors of the Squat Jump in Sprinting and Jumping Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 58(1), 15–22. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0067>
15. Ha, M. in Han, D. (2017). The relationship between knee joint angle and knee flexor and extensor muscle strength. *The Journal of Physical Therapy Science*, 29, 662–664.
16. 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>
17. Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R. in Nosaka, K. (2008). Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 412–418. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318166052b>
18. Inal, H. S., Erbuğ, B. in Kotzamanidis, C. (2012). Sprinting, isokinetic strength, and range of motion of ankle joints in Turkish male and female national sprinters may have a relationship. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 42(6), 1098–1104. <https://doi.org/10.3906/sag-1107-41>
19. Janicijevic, D., Knezevic, O., Mirkov, D., Pérez-Castilla, A., Petrovic, M., Samozino, P. in Garcia-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>
20. 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>
21. 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>
22. Kawamori, N. in Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 675–684. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2)
23. Latash, M. L. (2018). Muscle coactivation: Definitions, mechanisms, and functions. *Journal of Neurophysiology*, 120(1), 88–104. <https://doi.org/10.1152/jn.00084.2018>
24. Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physiology*, 69(11), 1198–1204. <https://doi.org/10.1191/1.1397460>
25. Marchetti, P. H., Jarbas da Silva, J., Schoenfeld, B. J., Nardi, P. S. M., Pecoraro, S. L., D'Andréa Greve, J. M. in Hartigan, E. (2016). Muscle Activation Differs between Three Different Knee Joint-Angle Positions during a Maximal Isometric Back Squat Exercise. *Journal of Sports Medicine*, 3846123. <https://doi.org/10.1155/2016/3846123>
26. 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>
27. 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.0b013e31811e35>
28. McMahon, J. J., Jones, P. A., Dos'Santos, T. in Comfort, P. (2017). Influence of dynamic strength index on countermovement jump force-, power-, velocity-, and displacement-time curves. *Sports*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/sports5040072>
29. McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P. in Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 96–106. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000375>
30. Mitchell, L. J., Argus, C. K., Taylor, K. L., Sheppard, J. M. in Chapman, D. W. (2017). The Effect of Initial Knee Angle on Concentric-Only Squat Jump Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 88(2), 184–192. <https://doi.org/10.1080/02701367.2017.1293777>
31. Moras, G. in Vázquez-Guerrero, J. (2015). Force production during squats performed with a rotational resistance device under stable versus unstable conditions. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(11), 3401–3406. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3401>
32. Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P. in McCauley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3), 699–707. <https://doi.org/https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d5eda>
33. Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Chimonidis, E. in Gantiraga, E. (2016). Effects of knee angle on lower extremity extension force and activation time characteristics of selected thigh muscles, (February). <https://doi.org/10.3233/IE5-2008-0294>
34. 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>
35. Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padi-al, 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>
36. 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, 1384. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01384>
37. Planjšek, P., Čoh, M., Štuhec, S. in Vertič, R. (2013). Diagnostika hitrosti sprinterskega teka z laserskim merilnikom. *Šport: revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 61(3/4), 60–68.
38. Pleša, J., Kozinc, Ž. in Šarabon, N. (2021). The Association Between Force-Velocity Relationship in Countermovement Jump and Sprint With Approach Jump, Linear Acceleration and Change of Direction Ability in Volleyball Players. *Frontiers in Physiology*, 12(November), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.763711>
39. 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>
40. Šarabon, N., Kozinc, Ž. in Marković, G. (2020). Force – velocity profile during vertical jump cannot be assessed using only bodyweight jump and isometric maximal voluntary contraction tasks. *Scientific Reports*, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76262-4>

41. Sheppard, J. M., Chapman, D. in Taylor, K.-L. (2011). An evaluation of a strength qualities assessment method for the lower body. *J. Aust. Strength Cond*, 19(2), 4–10.
42. Spudić, D., Smajla, D. in Šarabon, N. (2020). Intra-session reliability of electromyographic measurements in flywheel squats. *PLoS ONE*, 15(2), e0243090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243090>
43. Strojnik, V., Štirn, I. in Dolenec, A. (2017). Struktura moči kot izhodišče vadbe za moč. *Šport: revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 65(1/2), 153–158.
44. Suchomel, T. J., Sole, C. J., Bellon, C. R. in Stone, M. H. (2020). Dynamic Strength Index: Relationships with Common Performance Variables and Contextualization of Training Recommendations. *Journal of Human Kinetics*, 74(1), 59–70. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0014>
45. Thomas, C., Jones, P. A. in Comfort, P. (2015). Reliability of the dynamic strength index in college athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 542–545. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0255>
46. Trindade, T. B., De Medeiros, J. A., Dantas, P. M. S., de Oliveira Neto, L., Schwade, D., De Brito Vieira, W. H. in Oliveira-Dantas, F. F. (2020). A comparison of muscle electromyographic activity during different angles of the back and front squat. *Isokinetics and Exercise Science*, 28(1), 1–8. <https://doi.org/10.3233/IES-193142>
47. Weiss, L. W., Fry, A. C. in Relyea, G. E. (2002). Explosive strength deficit as a predictor of vertical jumping performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 83–86. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2002\)016<0083:ESDAAP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2002)016<0083:ESDAAP>2.0.CO;2)
48. WHO. (2013). Declaration of Helsinki Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/doi:10.1001/jama.2013.281053>
49. Young, K. P., Haff, G. G., Newton, R. U., Gabbett, T. J. in Sheppard, J. M. (2015). Assessment and monitoring of ballistic and maximal upper-body strength qualities in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 232–237. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0073>

Darjan Spudić, mag. kin.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport

darjan.spudic@fsp.uni-lj.si