



Darjan Spudić,
Primož Pori, Robert Cvitkovič

Vpliv velikosti inercialskega bremena na nekatere spremenljivke vadbe za moč

Izvleček

Inercialska vadba zaradi pozitivnih učinkov ekscentrične vadbe predstavlja nov trend pri vadbi za moč. Ena izmed poglavitnih pomanjkljivosti, s katero se srečujemo pri določanju obremenitve, je relativno prilaganje inercialskega bremena in s tem primerjava med učinki različnih protokolov. Namen raziskave je bil ugotoviti odnos med velikostjo bremena in proizvedeno kotno hitrostjo, silo, močjo in vrtilno količino na inercialski napravi za izvedbo horizontalnega potega. Na 43 starejših odraslih so bile izvedene meritve največje zmožnosti potega pri 6 različnih inercialskih bremenih, ki so bila določena z masnim vztrajnostnim momentom (MVM) kolutaste uteži. Podatki so bili zajeti z lastno skonstruirano inercialsko napravo in programsko opremo. Z analizo variance in regresijsko analizo smo ugotovili, da z višanjem MVM pride do statistično značilnih sprememb v spremenljivkah hitrosti, sile, moči in vrtilne količine ter da spremembe lahko opišemo z linearno funkcijo. Z določanjem MVM lahko zanesljivo kontroliramo hitrost izvedbe ponovitev, silo in proizvedeno moč na inercialski napravi, kar nam daje podlago za stopnjevanje obremenitve, relativno prilaganje intenzivnosti in spremljanje učinkov vadbe na inercialskih napravah in s tem temelj nadaljnjemu raziskovanju učinkov inercialske vadbe za moč.

Ključne besede: inercija, jakost, moč, intenzivnost, breme.



Influence of Inertial Exercise Load on particular Resistance Exercise Variables

Abstract

One of the principal weaknesses in Inertial training occurs when trying to determine the exercise load in the relative adjustment of the intensity of the exercise and, consequently, the comparison between the effects of various protocols. The purpose of the research was to find the relationship between the inertial load and the produced angular velocity, force, power and angular momentum on the low-row inertial device. 43 older adults participated in the study. Six different inertial loads were selected. They were set by the mass moment of inertia (MMI) of a flywheel. The data was documented by a custom-made inertial device connected to a programme software. It was discovered that by raising the mass moment of inertia, the variables of velocity, force, power and angular momentum significantly differed. Also, the changes were able to be described by using a linear function. By adjusting the MMI, one can consistently control the velocity of the repetitions, force, and power generated on the inertial device, which gives one a base upon for gradually increasing the load, relatively adjusting the intensity, and observing the effects of the inertial device exercises.

Key words: Flywheel, strength, power, intensity, load.

■ Uvod

Inercijska vadba za moč je bila razvita z namenom vzdrževanja mišične mase pri astronautih (Bjorn, Hans, Inessa, Dimitri in Tesch, 2003), danes pa predstavlja nov trend, ki se zaradi pozitivnih učinkov ekscentrične vadbe na strukturne in nevrnalne mehanizme vse bolj uveljavlja pri rehabilitaciji (Lepley, Lepley, Onate in Grooms, 2017; Maroto-Izquierdo idr., 2017; Romero-rodriguez, Gual in Tesch, 2010), preventivni vadbi, pri razvijanju motoričnih sposobnosti športnikov (Petré, Wernstål in Mattsson, 2018) in z namenom izboljšanja kazalnikov zdravja in lastnosti živčno-mišičnega sistema pri kroničnih bolnikih in starejših oseb (Bruseghini idr., 2015; Onambélé-Pearson idr., 2015).

Pregled literature (Illera-Domínguez idr., 2018; Lundberg, García-Gutiérrez, Mandić, Lilja in Fernandez-Gonzalo, 2019; Maroto-Izquierdo idr., 2017; Petré idr., 2018; Vicens-Bordas, Esteve, Fort-Vanmeerhaeghe, Bandholm in Thorborg, 2018) kaže na to, da inercijska vadba moči privede do enakega prirastka mišične mase v enakem časovnem obdobju, vendar pri manjšem volumnu vadbe, kar avtorji poimenujejo robustnost učinka vadbe. Rezultati študij glede prirastka koncentrične in ekscentrične mišične jakosti, hitre moči in vzdržljivosti v moči v primerjavi s tradicionalno vadbo z utežmi pa so si med seboj kontradiktorni.

Inercijske naprave za vadbo moči temeljijo na izkoriščanju vrtilne količine kolutaste uteži, ki jo v vrtenje spravimo s potegom vrvi, ovite okoli osi, na katero je utež nameščena. Vrtilna količina, ki jo pridobi kolutasta utež med koncentričnim potegom, predstavlja sunek navora pri zaustavljanju vrtenja kolesa z ekscentrično kontrakcijo vključenih mišic. Tekoče ponovitve inercijske vadbe spominjajo na delovanje joja in zato vadbo poimenujemo tudi »Yo-Yo« in »Flywheel« vadba (Norrbrand, Fluckey, Pozzo in Tesch, 2008). V nasprotju z vadbo z utežmi vrtilna količina kolesa, ki jo ustvarimo v koncentrični fazi krčenja mišice na inercijski napravi (poteg), povzroči časovno krajše, vendar intenzivnejše intervale mišične aktivacije in proizvedene mehanske sile v ekscentrični oziroma zaviralni fazi kontrakcije, po nekaterih raziskavah do 25 odstotkov višje kot v koncentričnem delu (Martinez-Aranda in Fernandez-Gonzalo, 2017; Norrbrand, Pozzo in Tesch, 2010; Petré idr., 2018). Zaradi lastnosti mišic za ustvarjanje višjih in manjši energijski porabi v ekscentričnem delu ponovitev vaje torej

ekscentrična preobremenitev optimizira vadbene breme in s tem trenajni proces postane učinkovitejši (Maroto-Izquierdo idr., 2017).

Kljub vsem pozitivnim učinkom obstaja veliko neznank pri inercijski vadbi za moč. Največja med njimi je prilagoditev intenzivnosti vadbe posamezniku oziroma relativno določanje bremena. Ugotovljeno je bilo, da manipulacija masnega vztrajnostnega momenta (MVM) in posledično hitrosti ter časa izvajanja ponovitev vpliva na prilagoditve mišic (Martinez-Aranda in Fernandez-Gonzalo, 2017). Vadba moči, pri kateri je uporabljen višji MVM in se posledično razvijejo manjše hitrosti, višje sile in je čas kontrakcije pri potegu vrvi podaljšan, v večji meri vpliva na hipertrofijo in maksimalno moč (jakost) mišic, medtem ko manjši MVM z višjo hitrostjo potega, manjšo silo in krajšim časom kontrakcije v večji meri vpliva na razvoj hitre moči (Nacz, Nacz, Brzenczek-Owczarzak Wioletta, Arlet in Adach, 2016; Sabido, Hernández-Davó in Pereyra-Gerber, 2018).

Na inercijski napravi je proizvedena hitrost, moč in sila ponovitev odvisna od bremena (MVM uteži) in dejanskega angažmaja vadečega. Za prilagoditev bremena sposobnostim posameznika in s tem optimizacijo vadbene procesa moramo poznati razmerje med proizvedeno silo, hitrostjo in močjo pri izvedbi ponovitve z določenim bremenom, saj so prilagoditve živčno-mišičnega sistema na vadbo odvisne tudi od velikosti uporabljenega bremena. Zato je pomembno, da breme določimo glede na individualne sposobnosti posameznika (relativno breme) in tako delujemo v želenem območju krivulje $F : v$ (Jiménez-Reyes, Samozino, Brugherelli in Morin, 2017).

Relativno breme na inercijski napravi lahko torej določimo na podlagi izvedbe balističnih ponovitev z največjim angažmajem vadečega (*angl. »all out«*) pri različnih (ekvidistančno stopnjujočih se) inercijskih bremenih. V primerjavi s klasičnimi meritvami pri enem pogoju (bremenu), z dobljenim odnosom med silo, hitrostjo in močjo ($F : v : P$) pridobimo veliko več informacij o mehanskih sposobnostih posameznika pri različnih mehanskih zahtevah, ki se pojavljajo tudi pri gibanju (Pérez-Castilla, Jaric, Feriche, Padiál in García-Ramos, 2018). Pri večšklepnih balističnih gibanjih (skok iz počepa, potisk s prsi, skok z nasprotnim gibanjem) je bil v takšnih pogojih izvedbe ponovitev ugotovljen obratno sorazmeren linearen odnos med stopnjevanjem mase

bremena (silo) in hitrostjo ponovitev, ki jo vadeči pri temu razvijejo (García-Ramos, Feriche, Pérez-Castilla, Padiál in Jaric, 2017; Pérez-Castilla idr., 2018) ter paraboličen odnos med hitrostjo in proizvedeno močjo (García-Ramos idr., 2017). Najpogostejše se pri merjenju odnosa $F : v$ uporablja 4 do 9 bremen. Linearnost odnosa $F : v$, ki izhaja iz mehanskih lastnosti mišic, pa zagotavlja predpogoj za zmanjšanje (redukcijo) števila bremen, pri katerih preiskovanci izvedejo ponovitve vaje in pri čemer odnos $F : v$ ostaja nespremenjen (Jaric, 2016). Študije na tem področju, ki bi zajemale inercijsko obremenitev, so zelo omejene.

Carroll idr. (2018) so v študiji ugotovili linearen odnos med stopnjevanjem MVM in proizvedeno povprečno in največjo hitrostjo dviga iz počepa na inercijski napravi. Pri relativizaciji intenzivnosti vadbe na inercijskih napravah moramo torej poleg določenega MVM upoštevati tudi ustvarjeno hitrost pri danem tipu izvedbe ponovitev (Schoenfeld, Grgic, Ogborn in Krieger, 2017). Kombinacija omenjenih spremenljivk nam torej daje možnost za določanje primerne obremenitve, primerjavo in spremljanje učinkov vadbe pri usmerjenem razvoju moči.

Namen raziskave je bil ugotoviti, če in v kolikšni meri progresivno povečevanje inercijskega bremena, ki ga določa masni vztrajnostni moment uteži, na inercijski napravi za izvedbo horizontalnega potega vpliva na spremenljivke kotne hitrosti, proizvedene sile, moči in ustvarjene vrtilne količine. Dodatno smo želeli preveriti, ali obstaja linearen odnos med proizvedeno hitrostjo in silo pri horizontalnem potegu na inercijski napravi. Ugotovljena razmerja med spremenljivkami dajejo izhodišče za način določanja relativnega bremena pri vadbi in s tem nadaljnje raziskovanje učinkov inercijske vadbe za moč.

■ Metode

Vzorec merjencev

V raziskavo je bilo prostovoljno vključenih 43 posameznikov s povprečno starostjo 66,1 let ($s = 5,0$) in indeksom telesne mase $27,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ($s = 5,6$), od tega 30 ženskega in 13 moškega spola. Vsi so bili oskrbovani v Zdravstvenega doma Črnomelj. Pred izvedbo meritev so vsi merjenci podpisali soglasje o prostovoljnem sodelovanju na lastno odgovornost in bili seznanjeni s tveganji eksperimenta. Vsi so izpolnjevali pogoje za varno vključitev v vadbo po zdravstvenem vprašalniku („The Physical Activity Readiness Questionnaire for Eve-

ryone", 2019). Vsi posamezniki so dobro poznali način izvedbe ponovitev na inercialski napravi za izvedbo horizontalnega potega, saj so bili pred meritvami vključeni v 8-tedenski program vadbe. Celoten eksperiment je bil izveden v skladu s Helsinško deklaracijo (WHO, 2013).

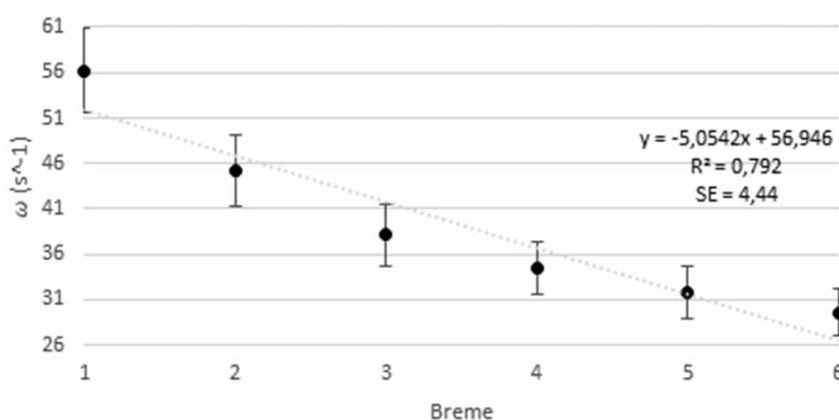
Postopek in pripomočki

Meritve so bile izvedene v telovadnici Zdravstvenega doma Črnomelj. Za meritve je bila uporabljena namensko konstruirana in izdelana inercialska naprava za izvedbo horizontalnega potega, ki omogoča natančno prilagajanje bremena s kolutastimi utežmi, s pripadajočo programsko opremo, katere merske karakteristike so bile predhodno preverjene (Spudić, Pori, Cvitković, Smajla in Ferligoj, 2018). Za antropometrične meritve in meritve sestave telesa sta bila uporabljena merilec sestave telesa in tehtnica (model SC-331S, Tanita, Illinois, ZDA) ter višinomer (model 1707007002268, Seca, Birmingham, Velika Britanija).

Posamezniki so po izvedenem standardiziranem ogrevanju v naključnem vrstnem redu izvedli 8 ponovitev vaje horizontalnega potega sede pri 6 različnih ekvidistančnih inercialskih bremenih. Breme je bilo določeno z masnim vztrajnostnim momentom uteži, in sicer 1 – 0,025 kg*m², 2 – 0,05 kg*m², 3 – 0,075 kg*m², 4 – 0,1 kg*m², 5 – 0,125 kg*m² in 6 – 0,15 kg*m². Prve 3 ponovitve so bile izvedene z namenom spraviti kolutasto utež v vrtenje, naslednjih 5 ponovitev pa je bilo izvedeno z največjo zmožnostjo potega, tj. z navodilom, da utež v čim krajšem času zavrtijo čim hitreje – t. i. angl. »all out« (Sabido idr., 2018). Prostor za izvedbo meritev je bil standardiziran, amplituda izvedbe je bila za vsakega posameznika določena in kontrolirana z markerjem na potezni vrvi in s povratno informacijo, ki smo jo pridobili s pomočjo programske opreme. Med izvedbo vaje pri različnih bremenih je bilo vsaj 5 minut odmora. Vaja horizontalni poteg je bila izbrana iz razloga enostavnosti izvedbe za merjenje in enostavne organizacije meritev.

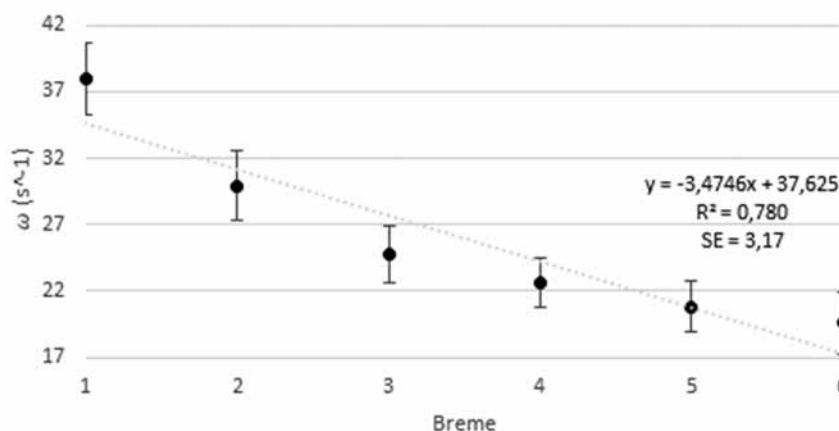
Namensko izdelana programska oprema nam je omogočala, da smo zajeli podatke o največji kotni hitrosti (ω_{max}), povprečni kotni hitrosti (ω_{mean}), največji sili v koncentričnem delu potega (F_{kmax}), največji sili v ekscentričnem delu potega (F_{emax}), povprečni sili (F_{mean}), največji moči v koncentričnem delu potega (P_{kmax}), največji moči v ekscentričnem delu potega (P_{emax}), povprečni moči (P_{mean}) in največji proizvedeni vrtilni količini (J). Vrednosti so bile prebrane

Največja kotna hitrost



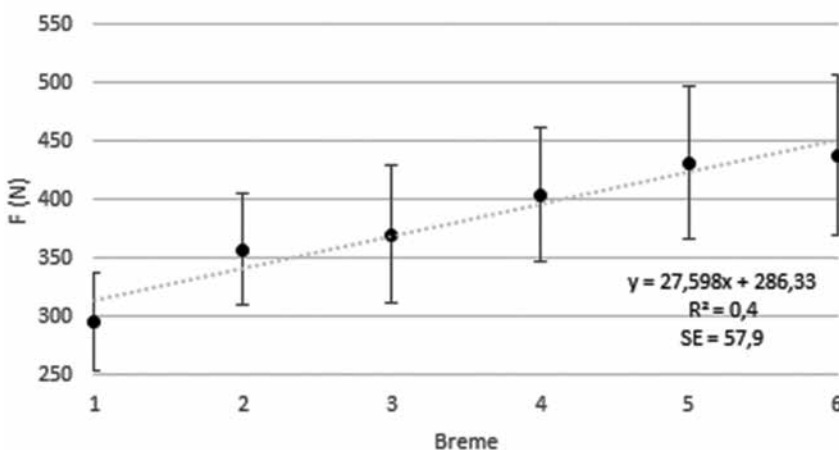
Slika 1. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje kotne hitrosti v koncentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Povprečna kotna hitrost



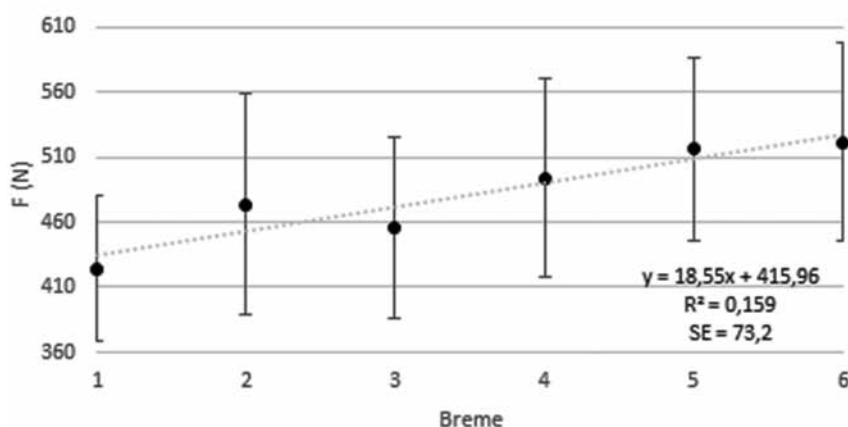
Slika 2. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona povprečne kotne hitrosti v koncentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Največja sila v koncentričnem delu



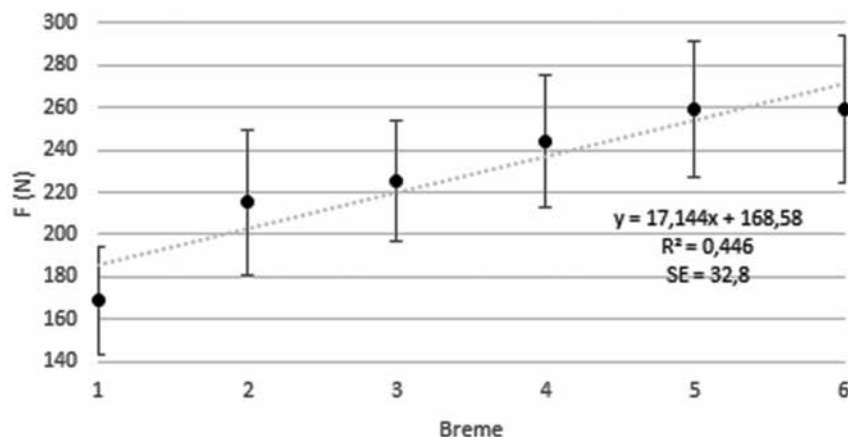
Slika 3. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje sile v koncentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Največja sila v ekscentričnem delu



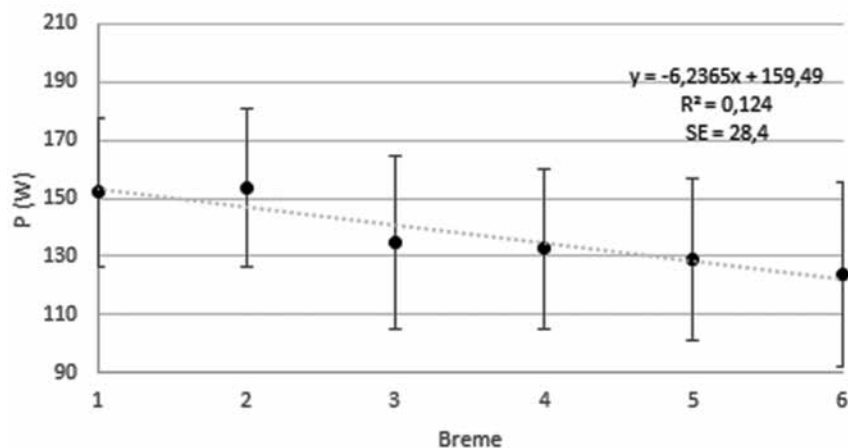
Slika 4. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje sile v ekscentričnem delu potega pri stopnjenem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Povprečna sila



Slika 5. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona povprečne sile v koncentričnem delu potega pri stopnjenem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Največja moč v koncentričnem delu



Slika 6. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje moči v koncentričnem delu potega pri stopnjenem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

kot povprečje treh vrednosti ponovitev znotraj izvedenega niza, pri katerih je posameznik ustvaril največjo kotno hitrost.

Metode obdelave podatkov

Za vse spremenljivke je bila izračunana opisna statistika. Morebitna prisotnost osamelcev je bila za vsako spremenljivko preverjena z raztresenim grafikonom. Normalnost je bila preverjena s Kolmogorov-Smirnovim testom ($p < 0,05$; nenormalna porazdelitev) in homogenost varianc z Levenovim testom ($p < 0,05$; heterogenost varianc). Za preverjanje razlik med bremenmi (1–6) pri vsaki izmed odvisnih spremenljivk ($\omega_{\max}$, ω_{mean} , F_{kmax} , F_{emax} , F_{mean} , P_{kmax} , P_{emax} , P_{mean} in Γ) smo uporabili enosmerno analizo variance in v primeru obstoja razlik je bil izveden Tukey-ev test mnogoterih primerjav ($p < 0,05$), s katerim smo iskali razlike med stopnjami bremen. Za ugotavljanje morebitnega odnosa med različnimi inercialnimi bremenmi in odvisnimi spremenljivkami je bila izvedena regresijska analiza. Prav tako smo regresijsko analizo uporabili pri ugotavljanju odnosa med proizvedeno povprečno/največjo hitrostjo in povprečno/največjo silo/močjo ($F : v : P$). Izračunana sta bila determinacijski koeficient (R^2) in standardna napaka napovedi (SE). Za obdelavo podatkov je bil uporabljen statistični program SPSS za Windows 25.0 (IBM Corporation, New York, ZDA), Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft, Washington, ZDA) in lastna izdelana programska oprema. Statistična značilnost je bila sprejeta z dvostransko 5 % napako alfa.

Rezultati

Z enosmerno analizo variance smo ugotovili, da se vrednosti $\omega_{\max}$ ($F(5, 252) = 364,308$, $p < 0,001$), ω_{mean} ($F(5, 252) = 398,81$, $p < 0,001$), F_{kmax} ($F(5, 252) = 37,58$, $p < 0,001$), F_{emax} ($F(5, 252) = 11,19$, $p < 0,001$), F_{mean} ($F(5, 252) = 51,553$, $p < 0,001$), P_{kmax} ($F(5, 252) = 8,161$, $p < 0,001$), P_{emax} ($F(5, 252) = 11,019$, $p < 0,001$), P_{mean} ($F(5, 252) = 11,103$, $p < 0,001$) in Γ ($F(5, 252) = 33,974$, $p < 0,001$) med različnimi vadbennimi bremenmi (1–6) med seboj statistično značilno razlikujejo. Tukeyev post hoc test je statistično značilne razlike med vsemi bremenmi pokazal samo pri spremenljivkah hitrosti ($\omega_{\max}$ in ω_{mean}) ($p < 0,001$). Vrednosti F_{kmax}

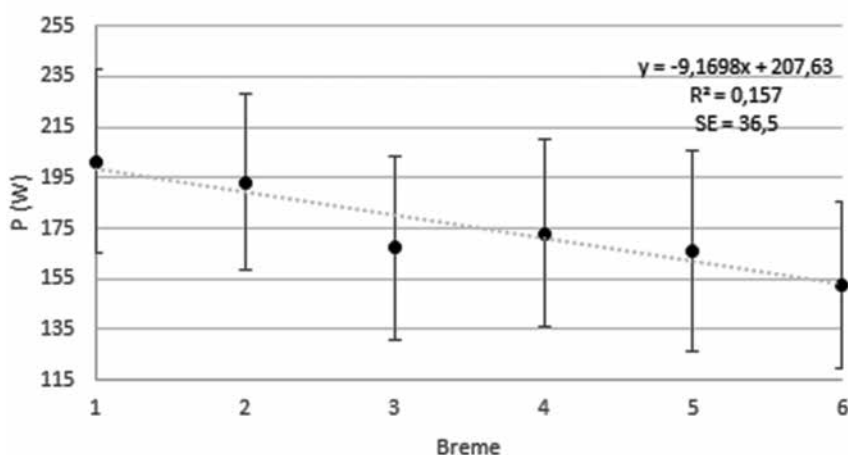
se niso razlikovale med bremenoma 2–3 ($p = 0,901$), 3–4 ($p = 0,069$), 4–5 ($p = 0,241$) in 5–6 ($p = 0,996$). Vrednosti $F_{\max}$ se niso razlikovale med bremenoma 2–3 ($p = 0,336$), 3–4 ($p = 0,158$), 4–5 ($p = 0,707$) in 5–6 ($p = 1$) in vrednosti F_{mean} med bremenoma 4–5 ($p = 0,22$) in 5–6 ($p = 1$). Vrednosti P_{kmax} se niso razlikovale med bremenoma 1–2 ($p = 1$), 3–4 ($p = 0,999$), 4–5 ($p = 0,992$) in 5–6 ($p = 0,951$). Vrednosti P_{max} se niso razlikovale med bremenoma 1–2 ($p = 0,907$), 3–4 ($p = 0,975$), 4–5 ($p = 0,940$) in 5–6 ($p = 0,525$) in vrednosti P_{mean} se niso razlikovale med bremenoma 1–2 ($p = 0,998$), 3–4 ($p = 0,1$), 4–5 ($p = 0,98$) in 5–6 ($p = 0,447$). Vrednosti Γ se niso razlikovale med bremenoma 2–3 ($p = 0,999$), 4–5 ($p = 0,768$) in 5–6 ($p = 0,983$).

Linearna regresija je bila uporabljena za ugotavljanje vpliva vadbenega bremena na inercialni napravi na ω_{max} , ω_{mean} , F_{kmax} , F_{mean} , P_{kmax} , P_{mean} in Γ . Ugotovili smo statistično značilno linearno regresijsko povezanost med progresivno določenimi bremenoma in največjo kotno hitrostjo (ω_{max}) ($F(1, 256) = 974,979$; $p < 0,000$) (Slika 1), povprečno kotno hitrostjo (ω_{mean}) ($F(1, 256) = 906,188$; $p < 0,000$) (Slika 2), največjo silo v koncentričnem delu (F_{kmax}) ($F(1, 256) = 170,745$) (Slika 3), največjo silo v ekscentričnem delu (F_{emax}) ($F(1, 256) = 48,295$; $p < 0,000$) (Slika 4), povprečno silo (F_{mean}) ($F(1, 256) = 206,036$; $p < 0,000$) (Slika 5), največjo močjo v koncentričnem delu (P_{kmax}) ($F(1, 256) = 36,293$; $p < 0,000$) (Slika 6), največjo močjo v ekscentričnem delu (P_{emax}) ($F(1, 256) = 47,604$; $p < 0,000$) (Slika 7), povprečno močjo (P_{mean}) ($F(1, 256) = 51,902$) (Slika 8) in največjo proizvedeno vrtilno količino (Γ) ($F(1, 256) = 143,876$; $p < 0,000$) (Slika 9). V kratkem, vsi izvedeni linearni regresijski modeli kažejo na to, da z izbiro bremena na inercialni napravi lahko statistično značilno napovemo hitrost, silo, moč in proizvedeno vrtilno količino, če poznamo regresijski odnos za posameznika. Dodatno so bili izračunani odnosi med ω_{max} in F_{kmax} , ω_{mean} in F_{mean} , ω_{max} in P_{kmax} ter ω_{mean} in P_{mean} . Tudi v teh primerih so rezultati pokazali značilno linearno regresijsko povezanost med ω_{max} in F_{kmax} ($F(1, 256) = 59,160$; $p < 0,000$) (Slika 10), ω_{mean} in F_{mean} ($F(1, 256) = 89,223$; $p < 0,000$) (Slika 11), ω_{max} in P_{kmax} ($F(1, 256) = 148,297$; $p < 0,000$) (Slika 12) in ω_{mean} in P_{mean} ($F(1, 256) = 137,913$; $p < 0,000$) (Slika 13).

Razprava

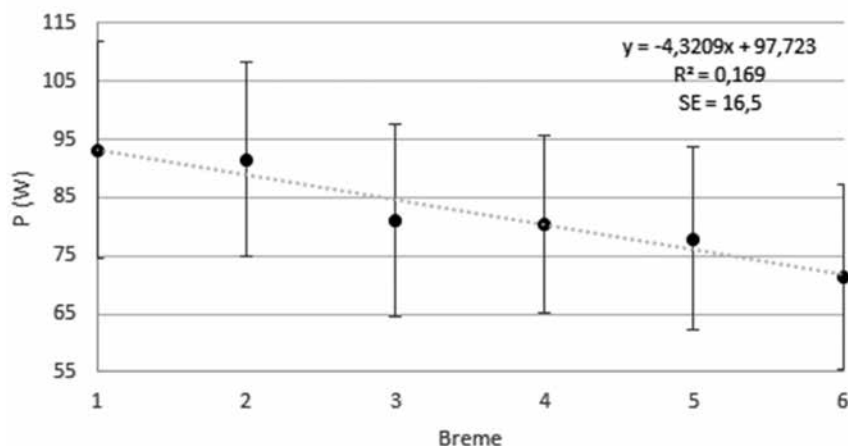
Namen raziskave je bil ugotoviti vpliv inercialskega bremena, določenega z MVM na inercialni napravi, na spremenljivke kotne hitrosti, proizvedene sile, moči in ustvarjene

Največja moč v ekscentričnem delu



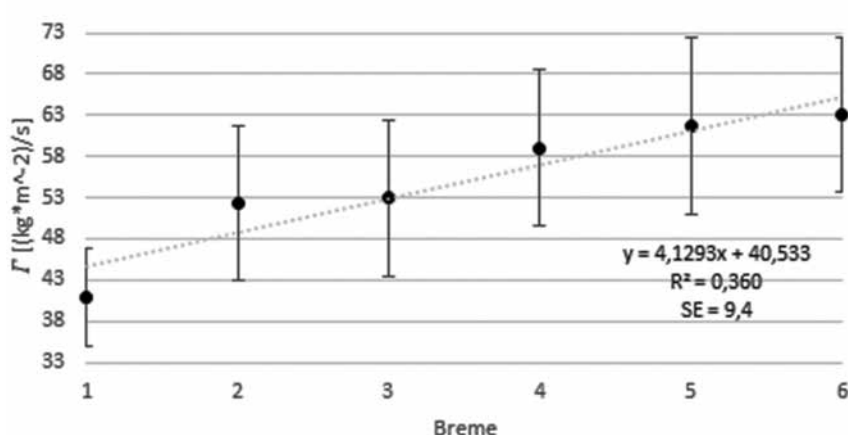
Slika 7. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje moči v ekscentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Povprečna moč



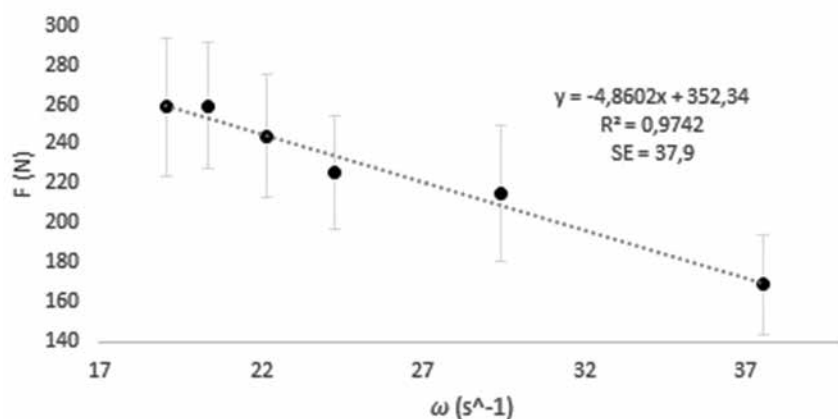
Slika 8. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona povprečne moči v koncentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Največja proizvedena vrtilna količina



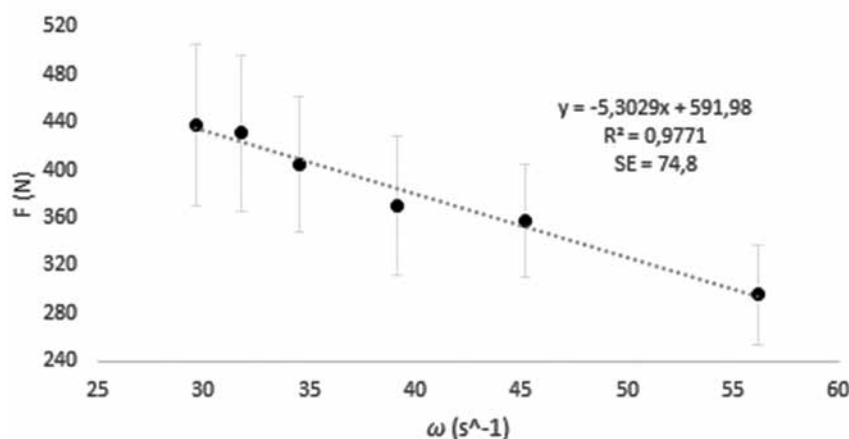
Slika 9. Prikaz aritmetične sredine in standardnega odklona največje proizvedene vrtilne količine v koncentričnem delu potega pri stopnjevanem bremenu ter pripadajoča regresijska premica z determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Odnos povprečna sila-povprečna hitrost



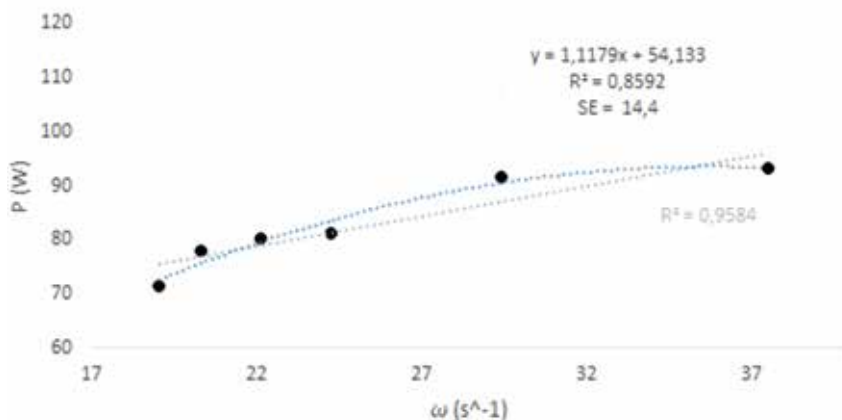
Slika 10. Prikaz odnosa med povprečno koncentrično silo in povprečno koncentrično kotno hitrostjo s pripadajočo regresijsko premico, determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Odnos največja sila-največja hitrost



Slika 11. Prikaz odnosa med največjo koncentrično silo in največjo koncentrično kotno hitrostjo s pripadajočo regresijsko premico, determinacijskim koeficientom (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

Odnos povprečna moč-povprečna hitrost



Slika 12. Prikaz odnosa med povprečno koncentrično močjo in povprečno koncentrično kotno hitrostjo s pripadajočo linearno in nelinearno regresijsko krivuljo, determinacijskima koeficientoma (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

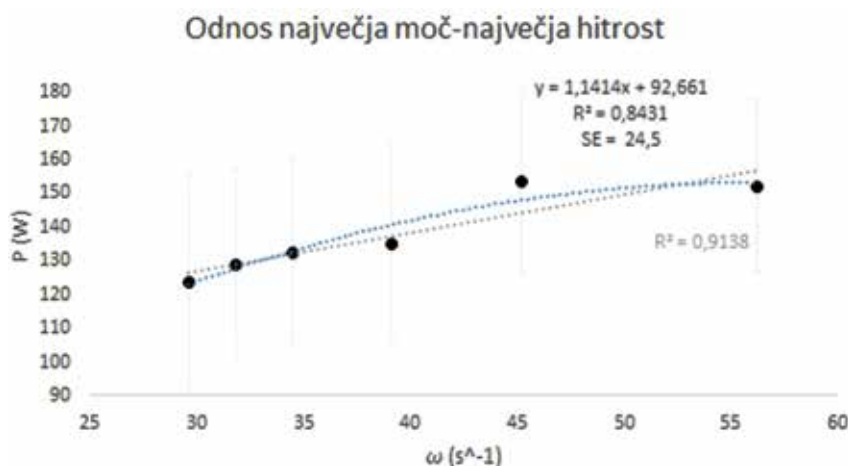
vrtilne količine pri izvedbi horizontalnega potega sede na inercialski napravi. Dodatno smo želeli preveriti, ali obstaja linearen odnos med proizvedeno hitrostjo in silo pri horizontalnem potegu na inercialski napravi. Ugotovljena razmerja med spremenljivkami v prihodnje dajejo več možnosti za način določanja relativnega bremena in s tem intenzivnosti vadbe in tako predstavljajo predpogoj za načrtovanje obremenitev med vadbo in temelj raziskovanja učinkov inercialske vadbe za moč.

V primerjavi s tradicionalno vadbo, kjer najvišjo intenzivnost vadbe določimo z najvišjim bremenom pri eni ponovitvi vaje (1RM), je največja pomanjkljivost inercialske vadbe ravno relativno prilagajanje bremena. Kljub temu da raziskave kažejo na pozitivne učinke inercialske vadbe za moč, so metode vadbe med seboj težko primerljive zaradi uporabe različnih inercialskih bremen (MVM), načina izvedbe ponovitev in predvsem uporabljene opreme.

Ugotovili smo, da progresivno dvig inercialskega bremena za 0,025 kg*m² (od 0,025 do 0,15 kg*m² MVM uteži) značilno spremeni vrednosti kotnih hitrosti, dviga bremena za 0,05 kg*m² pa značilno spremeni vrednosti proizvedene sile, moči in vrtilne količine. Iz ugotovljenega lahko zaključimo, da povišanje MVM za 0,025 kg*m² lahko predstavlja naslednjo stopnjo intenzivnosti vadbe v primeru spremljanja kotnih hitrosti, povišanje MVM za 0,05 kg*m² pa v primeru ostalih spremljanih spremenljivk. Vadbo na inercialskih napravah je torej možno stopnjevat z dodajanjem kolustastih uteži, kar je izrednega pomena pri načrtovanju vadbe zaradi specifičnega vpliva na mehanske lastnosti mišic (Marques, 2017; Naczki idr., 2016).

Do podobnih rezultatov je prišel tudi Carroll s sodelavci (2018) pri uporabi intenzivnosti 0,01–0,1 kg*m². Spremenljivke so bile v študiji zajete s pritiskovno ploščo in pospeškometro, ki je bil med počepanjem nameščen na rame merjencev. Dodatno sta Martinez-Aranda in Fernandez-Gonzalo (2017) ugotovila, da se razvije večja moč pri iztegu kolena na inercialski napravi z manjšimi MVM, medtem ko so bile ugotovljene višje sile in več opravljenega dela pri višjih MVM (0,075 in 0,1 kg*m²). Večja ekscentrična preobremenitev (razlika v navoru med ekscentrično in koncentrično fazo iztega kolena) se razvije pri srednjih do visokih MVM (0,050, 0,075 in 0,1 kg*m²) (Sabido idr., 2018).

Tako kot Carroll s sodelavci (2018) pri izvedbi počepa smo tudi pri izvedbi horizontalnega potega ugotovili, da lahko odnos med



Slika 13. Prikaz odnosa med največjo močjo in največjo kotno hitrostjo s pripadajočo linearno in nelinearno regresijsko krivuljo, determinacijskima koeficientoma (R^2) in standardno napako napovedi (SE).

izbranimi stopnjujočimi se inercijskimi bremenoma in proizvedeno najvišjo hitrostjo izvedbe vaje pri standardnem tipu izvedbe ponovitev vaje – tj. »all out« (Tesch, Ekberg, Lindquist in Trieschmann, 2004) opišemo z linearno funkcijo. Dodatno smo v naši študiji ugotovili tudi linearne regresijske odnose med stopnjo bremena in proizvedeno silo, močjo in vrtilno količino. Ugotovljen obratno sorazmeren odnos, ki ga za vsakega posameznika lahko zanesljivo opišemo z linearno regresijsko enačbo, daje možnost natančnejšega (relativnega) prilagajanja intenzivnosti vadbe.

Metode vadbe za moč, ki se uporabljajo pri inercijski obremenitvi, so večinoma usmerjene v aktivacijo živčno-mišičnega sistema. Najpogostejša je metoda 4 setov po 7 ponovitev vaje z najvišjo hitrostjo potega (»all out«) pri danem inercijskem bremenu (Maroto-izquierdo idr., 2019; Vicens-Bordas idr., 2018). Inercijsko breme je bilo do sedaj samo v nekaj študijah individualno določeno, in sicer glede na največjo ustvarjeno moč v koncentričnem delu ponovitve vaje. V študiji De Hoya-a in sodelavcev (2015) so tako za vadbo uporabili samo 4 različna inercijska bremena.

Tako se v praksi pojavlja ideja o relativnem določanju bremena glede na ustvarjeno moč v koncentričnem delu ponovitve vaje (De Hoya idr., 2015) ali glede na mejno hitrost izvedbe ponovitev (Spudić, Hadžić, Vodičar, Carruthers in Pori, 2019), kjer določamo čas kontrakcije in s tem trajanje sile v mišicah (Greenwood, Morrissey, Rutherford in Narici, 2007; Naczki idr., 2016). V primeru izbire inercijskega bremena, pri katerem je vadeči sposoben ustvariti največjo moč, bi le to predstavljalo referenčno izhodišče za

določanje vadbene območja. V kolikor bi vadeči izbral za vadbo nižje breme od referenčnega, bi se na območju odnosa $F : v : P$ premaknil v smer velikih hitrosti, in v kolikor bi izbral večje breme od referenčnega, je za pričakovati, da bi se njegove sposobnosti premaknile v smeri velikih sil (Jiménez-Reyes idr., 2017, 2018). V primeru relativnega bremena, določenega z mejno hitrostjo ponovitev v koncentričnem delu ponovitve vaje, pa določimo čas trajanja kontrakcije pri največjem možnem angažmaju posameznika, da bi dano utež zavrtel čim hitreje. Večja kot je hitrost ponovitev, manjše je inercijsko breme in obratno. Obratnosorazmerno z izbiro bremena torej določamo hitrost ponovitev in s tem mehansko obremenitev med izvedbo ponovitve vaje – pri čemer lahko pričakujemo hitrostno-specifične prilagoditve živčno-mišičnega sistema in temu primeren spremenjen odnos $F : v : P$ (Behm in Sale, 1993; Garnacho-Castaño, Muñoz-González, Garnacho-Castaño in Maté-Muñoz, 2018; Naczki idr., 2016).

Omeniti velja, da bi bilo konkretno v naši študiji nekatere odnose med spremenljivkami možno še natančneje določiti s funkcijami višjega reda (Slika 12 in 13), predvsem pri največji moči in hitrosti ponovitev. Iz tega razloga smo dodatno izvedli regresijsko analizo med spremenljivkami sile, hitrosti in moči. Preverili smo t. i. odnos $F : v : P$, ki se v literaturi pogostejše pojavlja pri večsklepnih balističnih gibanjih, kot sta počepanje in potisk s prsi. Ugotovili smo, da so determinacijski koeficienti v teh primerih višji, kar pomeni, da naredimo manjšo napako pri napovedovanju sile oziroma moči pri variranju kotne hitrosti. Slednje ugotovitve se skladajo z večino študij, ki zajemajo odnose med ustvar-

jeno hitrostjo, silo in močjo pri večsklepnih balističnih akcijah (Jiménez-Reyes idr., 2018). V prihodnje bi bilo z namenom racionalizacije meritev smiselno preveriti odnos $F : v : P$ pri inercijski obremenitvi z redukcijo števila inercijskih bremen, pri čemer bi želeli, da odnos $F : v : P$ ostane nespremenjen. S tem bi omogočili racionalnejše meritve sposobnosti posameznikov na inercijskih napravah za vadbo moči z ohranjanjem kritične veljavnosti odnosa $F : v : P$.

Izpostaviti je potrebno še dve večji pomanjkljivosti študije, in sicer vzorec merjencev, ki so ga predstavljali telesno aktivni starejši odrasli (66 let), in zgolj na podlagi praktičnih izkušenj izbrana inercijska bremena (1–6). Za slednja namreč menimo, da niso bila izbrana v območju, kjer bi lahko zanesljivo izmerili največjo mehansko moč. Zato je tudi odnos breme-moč značilno linearen, kar pa se ne ujema z raziskavami $F : v : P$ pri tradicionalni vadbi z utežmi (Jiménez-Reyes idr., 2018). V prihodnje bi bilo smiselno študijo ponoviti z dodatnimi inercijskimi bremenoma.

Ugotovljeni odnosi med inercijskim bremenom in spremenljivkami hitrosti, sile, moči in vrtilne količine nam dajejo izhodišče za načrtovanje vadbene procesa. Na inercijski napravi za izvedbo horizontalnega potega lahko z določanjem MVM v območju od 0,025–0,15 kg·m² kontroliramo hitrost izvedbe ponovitev, ustvarjeno silo, moč in ustvarjeno vrtilno količino ter s tem vadbo primerno stopnjujemo oziroma prilagajamo glede na želene cilje. Pomanjkljivost v izbiri inercijskih bremen v izvedeni raziskavi pa nam v prihodnje daje izhodišče za pripravo optimiziranega protokola meritev za meritve odnosa $F : v : P$ in s tem možnost za natančnejše določanje relativnega bremena za usmerjen razvoj moči.

Literatura

- Behm, D. G. in Sale, D. G. (1993). Velocity Specificity of Resistance Training. *Sports Medicine*, 15(6), 374–388.
- Bjorn, A., Hans, B., Inessa, K., Dimitri, S. in Tesch, P. (2003). Effects of strength training, using a gravity-independent exercise system, performed during 110 days of simulated space station confinement. *European Journal of Applied Physiology*, 90(1–2), 44–49. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0850-2>
- Bruseghini, P., Calabria, E., Tam, E., Milanese, C., Oliboni, E., Pezzato, A., ... Capelli, C. (2015). Effects of eight weeks of aerobic interval training and of isoinertial resistance training on risk factors of cardiometabolic diseases and exercise capacity in healthy elderly subjects. *Oncotarget*, 6(19), 16998–17015.

4. Carroll, K. M., Wagle, J. P., Sato, K., Christopher B. Taber, N. Y., Bingham, G. E. in Stone, M. H. (2018). Characterising overload in inertial flywheel devices for use in exercise training. *Sports Biomechanics*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1433715>
5. De Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S. in Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1). <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0547>
6. 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>
7. Garnacho-Castaño, M. V., Muñoz-González, A., Garnacho-Castaño, M. A. in Maté-Muñoz, J. L. (2018). Power– and velocity–load relationships to improve resistance exercise performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 232(4), 349–359. <https://doi.org/10.1177/1754337118773587>
8. Greenwood, J., Morrissey, M. C., Rutherford, O. M. in Narici, M. V. (2007). Comparison of conventional resistance training and the fly-wheel ergometer for training the quadriceps muscle group in patients with unilateral knee injury. *European Journal of Applied Physiology*, 101(6), 697–703. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0548-y>
9. Illera-Domínguez, V., Nuell, S., Carmona, G., Padullés, J. M., Padullés, X., Lloret, M., ... Cadefau, J. A. (2018). Early Functional and Morphological Muscle Adaptations During Short-Term Inertial-Squat Training. *Frontiers in Physiology*, 9(1265), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01265>
10. Jaric, S. (2016). Two-loads Method for Distinguishing among the Muscle Force, Velocity, and Power Producing Capacities. *Sports Med.*, 46(11), 1585–1589. <https://doi.org/10.1007/s11065-015-9294-9>Functional
11. 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(1), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
12. Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñaflor, 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*, 2018(11), 1–18. <https://doi.org/10.7717/peerj.5937>
13. Lepley, L. K., Lepley, A. S., Onate, J. A. in Grooms, D. R. (2017). Eccentric Exercise to Enhance Neuromuscular Control. *Sports Health*, 9(4), 333–340. <https://doi.org/10.1177/1941738117710913>
14. Lundberg, T. R., García-Gutiérrez, M. T., Mandić, M., Lilja, M. in Fernandez-Gonzalo, R. (2019). Regional and muscle-specific adaptations in knee extensor hypertrophy using flywheel vs. conventional weight-stack resistance exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 1–27. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0774>
15. Maroto-izquierdo, S., Fernandez-gonzalo, R., Magdi, H. R., Manzano-rodriguez, S., González-gallego, J., Paz, J. A. De, ... Magdi, H. R. (2019). Comparison of the musculoskeletal effects of different iso-inertial resistance training modalities : Flywheel vs . electric-motor. *European Journal of Sport Science*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1588920>
16. Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O. C., González-Gallego, J. in de Paz, J. A. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.03.004>
17. Marques, M. C. (2017). Movement velocity vs. strength training. *Motricidade*, 13(1), 1–2. <https://doi.org/10.6063/motricidade.12080>
18. Martinez-Aranda, L. M. in Fernandez-Gonzalo, R. (2017). Effects of inertial setting on power, force, work, and eccentric overload during fly-wheel resistance exercise in women and men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(6), 1653–1661. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001635>
19. Naczki, M., Naczki, A., Brzenczek-Owczarzak Wioletta, Arlet, J. in Adach, Z. (2016). Efficacy of inertial training in elbow joint muscles: influence of different movement velocities. *Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(3), 223–231.
20. Norrbrand, L., Fluckey, J. D., Pozzo, M. in Tesch, P. A. (2008). Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*, 102, 271–281. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0583-8>
21. Norrbrand, L., Pozzo, M. in Tesch, P. A. (2010). Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*, 110, 997–1005. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1575-7>
22. Onambélé-Pearson, G. L., Tam, E., Rejc, E., Mcewan, I. M., Maganaris, C. N., Mian, O. S., ... Onambe, G. L. (2015). Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons, (June). <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.09.004>
23. Pérez-Castilla, A., Jaric, S., Feriche, B., Padial, P. in García-Ramos, A. (2018). Evaluation of Muscle Mechanical Capacities Through the Two-Load Method: Optimization of the Load Selection. *Journal of strength and conditioning research*, 32(5), 1245–1253. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001969>
24. Petré, H., Wernstål, F. in Mattsson, C. M. (2018). Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. *Sports medicine - open*, 4(55), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0169-5>
25. Romero-rodriguez, D., Gual, G. in Tesch, P. A. (2010). Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: A case-series study. *Physical Therapy in Sport*, 12(1), 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.10.003>
26. Sabido, R., Hernández-Davó, J. L. in Pereyra-Gerber, G. (2018). Influence of Different Inertial Loads on Basic Training Variables During the Flywheel Squat Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 482–489.
27. Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D. in Krieger, J. W. (2017). *Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training*. *Journal of Strength and Conditioning Research* (Let. 31). <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002200>
28. Spudić, D., Hadžić, V., Vodičar, J., Carruthers, J. in Pori, P. (2019). Influence of inertial resistance squat exercise protocol based on novel exercise intensity determination on physical fitness of older adult women. *EQOL Journal*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.31382/eqol.190604>
29. Spudić, D., Pori, P., Cvitković, R., Smajla, D. in Ferligoj, A. (2018). Kvaliteta merjenja z inercijsko napravo za merjenje spremenljivk moči. *Šport : revija za teoretična in praktična vprašanja športa*, 66(3/4), 135–140.
30. Tesch, P. A., Ekberg, A., Lindquist, D. in Trieschmann, J. (2004). Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiologica Scandinavica*, 180(1), 89–98.
31. The Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone. (2019). Pridobljeno 26. marec 2019., od <http://eparmedx.com/wp-content/uploads/2013/03/PARQPlus2019ImageVersion2.pdf>
32. Vicens-Bordas, J., Esteve, E., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Bandholm, T. in Thorborg, K. (2018). Is inertial flywheel resistance training superior to gravity-dependent resistance training in improving muscle strength? A systematic review with meta-analyses. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(1), 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.10.006>
33. 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>

Darjan Spudić, mag. kin.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
Gortanova 22, 1000 Ljubljana
darjan.spudic@fsp.uni-lj.si