

Valjanost i pouzdanost mobilne aplikacije za Velocity - Based Training (VBT) u vježbi potisak na ravnoj klupi

Šagovac, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:654257>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

Antonio Šagovac

**VALJANOST I POUZDANOST MOBILNE
APLIKACIJE ZA *VELOCITY – BASED*
TRAINING (VBT) U VJEŽBI POTISAK S RAVNE
KLUPE**

diplomski rad

Zagreb, rujan 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet
Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Hrvatska

Naziv studija: Kineziologija; **smjer:** Kineziologija u edukaciji i Kondicijskoj pripremi sportaša

Vrsta studija: sveučilišni

Razina kvalifikacije: integrirani prijediplomski i diplomski studij

Studij za stjecanje akademskog naziva: sveučilišni magistar kineziologije u edukaciji i kondicijskoj pripremi sportaša (univ. mag. cin.)

Znanstveno područje: Društvene znanosti

Znanstveno polje: Kineziologija

Vrsta rada: Znanstveno-istraživački rad

Naziv diplomskog rada: je prihvaćena od strane Povjerenstva za diplomske radove Kineziološkog fakulteta

rada: Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2023./2024. dana 7. svibnja 2024.

Mentor: doc. dr. sc. Marijo Baković

Valjanost i pouzdanost mobilne aplikacije za *Velocity – Based Training (VBT)* u vježbi potisak s ravne klupe
Antonio Šagovac, 0034085206

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | | |
|----|---|----------------------|
| 1. | doc. dr. sc. <i>Marijo Baković</i> | Predsjednik - mentor |
| 2. | dr. sc. <i>Marin Dadić</i> | član |
| 3. | prof. dr. sc. <i>Ljubomir Antekolović</i> | član |
| 4. | izv. prof. dr. sc. <i>Cvita Gregov</i> | zamjena člana |

Broj etičkog odobrenja: 67/2024

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kineziološkog fakulteta,
Horvaćanski zavoj 15, Zagreb

BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

University of Zagreb
Faculty of Kinesiology
Horvačanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

Title of study program: Kinesiology; course Kinesiology in Education and Physical Conditioning of Athletes

Type of program: University

Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate

Acquired title: University Master of Kinesiology in Education and Physical Conditioning of Athletes

Scientific area: Social sciences

Scientific field: Kinesiology

Type of thesis: Scientific-research work

Master thesis: has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year 2023./2024. On May 7, 2024.

Mentor: *Marijo Baković*, PhD, assistant prof.

Validity and reliability of mobile application for Velocity – Based Training (VBT) in the bench press exercise
Antonio Šagovac, 0034085206

Thesis defence committee:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. <i>Marijo Baković</i> , PhD, assistant prof. | chairperson-supervisor |
| 2. <i>Marin Dadić</i> , PhD | member |
| 3. <i>Ljubomir Antekolović</i> , PhD, prof. | member |
| 4. <i>Cvita Gregov</i> , associate prof. | substitute member |

Ethics approval number: 67/2024

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Kinesiology, Horvačanski zavoj 15, Zagreb

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

doc. dr. sc. Marijo Baković

Student:

Antonio Šagovac

VALJANOST I POUZDANOST MOBILNE APLIKACIJE ZA VELOCITY – BASED TRAINING (VBT) U VJEŽBI POTISAK S RAVNE KLUPE

Sažetak

Cilj ovog rada je bio utvrditi valjanost i pouzdanost mobilne aplikacije *Metric VBT* u vježbi potisak s ravne klupe. Istraživanju je pristupilo petnaest (15) muških ispitanika (dob $24,2 \pm 1,6$ godina; visina $183,8 \pm 7,51$ cm; tjelesna masa $87,8 \pm 8,5$ kg) s iskustvom u treningu s opterećenjem te vježbi potisak s ravne klupe u trajanju od najmanje dvije (2) godine. Od ispitanika se zahtijevalo izvođenje 3 maksimalno brza koncentrična ponavljanja pri opterećenjima od 30%, 45%, 60% i 75% 1 RM-a u potisku s ravne klupe. Brzina pokreta mjerila se istovremeno pomoću *Vitruve* mjernog uređaja te mobilne aplikacije *Metric VBT*. Zbog nemogućnosti očitavanja brzine pokreta, opterećenje od 30% 1RM-a je isključeno iz daljnje statističke obrade. Rezultati prikazuju statistički značajnu ($p < 0,05$) jako visoku te skoro savršenu povezanost ukupnog broja ponavljanja (150) za varijable srednje ($r = 0,93$; SEM = $0,01 \pm 0,06$ m/s), vršne brzine ($r = 0,91$; SEM = $-0,08 \pm 0,12$ m/s) i amplitude pokreta ($r = 0,75$; SEM = $4,38 \pm 4,14$ cm). Također, postoji statistički značajna ($p < 0,05$) srednja do jako visoka povezanost za pojedinačna opterećenja u varijablama srednje ($r = 0,47$ [45%]; $r = 0,85$ [60%]; $r = 0,89$ [75%]), vršne brzine ($r = 0,79$ [60%]; $r = 0,81$ [75%]) i amplitude pokreta ($r = 0,71$ [45%]; $r = 0,79$ [60%]; $r = 0,77$ [75%]). S druge strane, pouzdanost za pojedinačna ponavljanja mjerena intraklasnim koeficijentom korelacije (ICC) ukazuje u postojanje statistički značajne ($p < 0,05$) odlične ponovljivosti rezultata za varijable srednje (ICC = $0,93$ [45%]; ICC = $0,95$ [60%]; ICC = $0,95$ [75%]), vršne brzine (ICC = $0,89$ [45%]; ICC = $0,97$ [60%]; ICC = $0,92$ [75%]) i amplitude pokreta (ICC = $0,97$ [45%]; ICC = $0,95$ [60%]; ICC = $0,97$ [75%]). Varijacije rezultata unutar jednog ispitanika za pojedinačna opterećenja mjerene pomoću koeficijenta varijacije (CV) govore o prihvatljivoj razini varijabilnosti (<10%) za varijable srednje (CV = $3,91\%$ [45%]; CV = $4,74\%$ [60%]; CV = $7,09\%$ [75%]), vršne brzine (CV = $4,90\%$ [45%]; CV = $5,94\%$ [60%]; CV = $9,41\%$ [75%]) i amplitude pokreta (CV = $3,91\%$ [45%]; CV = $3,12\%$ [60%]; CV = $3,07\%$ [75%]). U konačnici, dobiveni rezultati podržavaju uporabu mobilne aplikacije *Metric VBT* za praćenje brzine pokreta u vježbi potisak s ravne klupe.

Ključne riječi: valjanost, pouzdanost, velocity – based training, VBT, potisak s ravne klupe

VALIDITY AND RELIABILITY OF MOBILE APPLICATION FOR *VELOCITY - BASED TRAINING (VBT)* IN THE BENCH PRESS EXERCISE

Abstract

The aim of this study was to determine the validity and reliability of *Metric VBT* mobile application during the bench press exercise. The research was attended by fifteen (15) male participants (age 24.2 ± 1.6 years; height 183.8 ± 7.51 cm; weight 87.8 ± 8.5 kg) with experience in strength training and bench press exercise for at least two (2) years. Participants were required to perform 3 maximally fast concentric repetitions at loads of 30%, 45%, 60% and 75% of 1RM in the bench press exercise. Movement velocity was simultaneously recorded using the *Vitruve* measuring device and the *Metric VBT* mobile application. Due to the impossibility of reading the movement velocity the load of 30% 1RM was excluded from further statistical analysis. Results show a statistically significant ($p < 0.05$) very high and almost perfect correlation of the total number of repetitions (150) for the variables of mean ($r = 0.93$; SEM = 0.01 ± 0.06 m/s), peak velocity ($r = 0.91$; SEM = -0.08 ± 0.12 m/s) and range of motion ($r = 0.75$; SEM = 4.38 ± 4.14 cm). Also, there was a statistically significant ($p < 0.05$) medium to very high correlation for individual loads in the variables of mean ($r = 0.47$ [45%]; $r = 0.85$ [60%]; $r = 0.89$ [75%]), peak velocity ($r = 0.79$ [60%]; $r = 0.81$ [75%]) and range of motion ($r = 0.71$ [45%]; $r = 0.79$ [60%]; $r = 0.77$ [75%]). On the other side, reliability for individual repetitions measured by intraclass correlation coefficient (ICC) indicates in existence of statistically significant ($p < 0.05$) excellent reproducibility of results for mean (ICC = 0.93 [45%]; ICC = 0.95 [60%]; ICC = 0.95 [75%]), peak velocity (ICC = 0.89 [45%]; ICC = 0.97 [60%]; ICC = 0.92 [75%]) and range of motion (ICC = 0.97 [45%]; ICC = 0.95 [60%]; ICC = 0.97 [75%]). Variation of results within one subject for individual loads measured using the coefficient of variation (CV) indicates an acceptable level of variability ($<10\%$) for mean (CV = 3.91% [45%]; CV = 4.74% [60%]; CV = 7.09% [75%]), peak velocity (CV = 4.90% [45%]; CV = 5.94% [60%]; CV = 9.41% [75%]) and range of motion (CV = 3.91% [45%]; CV = 3.12% [60%]; CV = 3.07% [75%]). Ultimately, the obtained results support the use of the *Metric VBT* mobile application to track movement velocity in the bench press exercise.

Keywords: validity, reliability, velocity – based training, VBT, bench press

POPIS KRATICA I PRIJEVODNIH EKVIVALENATA NA ENGLESKOM JEZIKU

1RM – jedno maksimalno ponavljanje (eng. *one - repetition maximum*)

CI – interval pouzdanosti (eng. *confidence interval*)

CV – koeficijent varijacije (eng. *coefficient of variation*)

ICC – intraklasni koeficijent korelacije (eng. *intraclass coefficient correlation*)

LPT – eng. *linear position transducer*

LVP – eng. *load – velocity profiling*

MV – srednja brzina (eng. *mean velocity*)

MVT – minimalni prag brzine (eng. *minimal velocity threshold*)

PV – vršna brzina (eng. *peak velocity*)

r – Pearsonov produkt – moment koeficijent korelacije (eng. *Pearson's product – moment correlation coefficient*)

R² - koeficijent determinacije (eng. *the coefficient of determination*)

SD – standardna devijacija (eng. *standard deviation*)

SEM – standardna pogreška mjerenja (eng. *standard error of measurement*)

VBT – eng. *velocity – based training*

VL – pad brzine (eng. *velocity loss*)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. CILJEVI I HIPOTEZE	5
3. METODE ISTRAŽIVANJA.....	6
3.1. Uzorak ispitanika	6
3.2. Opis protokola istraživanja.....	6
3.3. Opis mjernih instrumenata.....	7
3.4. Uzorak varijabli	7
3.5. Metode obrade podataka.....	7
4. REZULTATI.....	8
5. RASPRAVA	14
6. ZAKLJUČAK	17
7. LITERATURA.....	18

1. UVOD

Trening s opterećenjem predstavlja najučestaliji oblik intervencije u sportskoj praksi u svrhu ostvarenja različitih mišićnih adaptacija (Suchomel i suradnici, 2016). Kako bi zadovoljili željeni fiziološki odgovor, potrebno je staviti pod kontrolu različite akutne trenažne varijable poput izbora i redoslijeda vježbi, intenziteta, ekstenziteta, odmora, brzine pokreta, vrste mišićne akcije te frekvencije treninga (Bird i suradnici, 2005). Među spomenutim varijablama, intenzitet predstavlja najvažniji faktor u ostvarenju željenih mišićnih adaptacija (Crewther i suradnici, 2005). U praksi, najčešći oblik određivanja intenziteta opterećenja je pomoću određivanja postotka od unaprijed procijenjene vrijednosti jednog maksimalnog ponavljanja (1RM) ili pomoću zone ponavljanja. Obzirom kako istraživanja govore u korist i visoku valjanost ove metode, javlja se problem pouzdanosti uslijed periodičnih fluktuacija maksimalne jakosti koje mogu biti akutnog karaktera zbog pojave umora, te kroničnog tipa zbog adaptacije na prijašnje trenažne stimulanse (González-Badillo i Sánchez-Medina, 2010). Također, istraživanja govore o inter - individualnim razlikama kada je u pitanju definiranje zona ponavljanja pri različitim postocima 1RM-a (Richens i Cleather, 2014). Spomenuta ograničenja potiču potragu za objektivnijim alatima u svrhu praćenja trenažnog opterećenja čime se dolazi do metode pod nazivom *Velocity – Based Training* (VBT).

Weakley i suradnici (2021) definiraju VBT kao metodu koja uz pomoć brzine pokreta, kao varijable mjerenja, pruža informacije i poboljšava trenažni proces. Jednostavnije rečeno, ono se odnosi na korištenje različitih uređaja za mjerenje brzine pokreta u svrhu praćenja trenažnog odgovora. Postoji nekoliko razloga zbog čega brzina pokreta zauzima visoku ulogu i zainteresiranost kao mjera praćenja trenažnog opterećenja. U uvjetima kada se koncentrični dio pokreta izvodi s maksimalnim mogućim naporom, odnos brzine pokreta i vanjskog opterećenja postaje obrnuto proporcionalan (Milanović, 2013). Shodno tome, s povećanjem vanjskog opterećenja brzina koncentričnog pokreta se smanjuje (Izquierdo i suradnici, 2006). Smanjenje brzine pokreta događa se sve do trenutka kada osoba dosegne opterećenje od 1RM, gdje se brzina pokreta pri posljednjem ponavljanju definira kao minimalni prag brzine (eng. *minimal velocity threshold*, MVT) (Izquierdo i suradnici, 2006). Ono se razlikuje od vježbe do vježbe te je generalno stabilna varijabla kroz vrijeme, što znači da nije podložna značajnim promjenama uslijed kroničnih adaptacija, dok se vrijednosti najčešće kreću između 0,15 m/s i 0,30 m/s (Jovanović i Flanagan, 2014). Također, postoje jasne inter – individualne razlike u MVT-u koje treba uzeti u obzir (Pestana-Melero i suradnici, 2018). Spoznaje poput obrnuto –

proporcionalnog odnosa sile i brzine te minimalnog praga brzine za pojedinu vježbu omogućuju procjenu 1RM-a uz korištenje submaksimalnih opterećenja, u literaturi poznato pod nazivom LVP (eng. *Load – Velocity Profiling*) (Jidovstev i suradnici, 2011). Istraživanja govore o visokoj preciznosti ove metode u svrhu procjene 1RM-a u kojoj se snaga povezanosti najčešće mjeri uz pomoć jednostavne linearne regresijske jednadžbe gdje vrijednost R^2 najčešće seže između 0,993 i 0,999 (González-Badillo i Sánchez-Medina, 2010). Kako bi vrijednost regresije bila što točnija, autori sugeriraju u korištenje više različitih submaksimalnih opterećenja prilikom profiliranja (Weir i Vincent, 2020).

Poznavanje sportaševog mehaničkog profila uz primjenu VBT-a omogućuje pružanje objektivnih podataka u realnom vremenu te objektivnije praćenje trenažnog opterećenja uz uvažavanje trenutnih sportaševih sposobnosti i njihovu pravovremenu regulaciju. Istraživanja govore o velikoj koristi uporabe VBT-a u svrhu regulacije i praćenja umora, kao i o mogućnosti pružanja povratnih informacija u realnom vremenu što poboljšava trenažni utjecaj (Weakley i suradnici, 2019). Razlog ovakve premise leži u fiziološkim uvjetima većine sportova koji zahtijevaju aktivaciju brzih motoričkih jedinica i ustrojenost brzih mišićnih vlakana tipa II koja nastaju u uvjetima malog živčano – mišićnog umora (Rodríguez-Rosell i suradnici, 2018). Upravo zbog toga, praćenje varijable pada brzine izvedbe (eng. *velocity loss, VL*), pojedinačnog ponavljanja unutar i između serija, predstavlja temelj za objektivnim usmjeravanjem željene adaptacije (González-Badillo i suradnici, 2017).

Postoje različite varijable brzine koje se prate i kontroliraju putem VBT-a među kojima su najčešće srednja ili prosječna brzina (eng. *mean velocity, MV*) koja obuhvaća prosječnu brzinu kroz cijeli koncentrični dio pokreta, te vršna brzina (eng. *peak velocity, PV*) kao najveća brzina dosegnuta unutar koncentričnog dijela pokreta (Weakley i suradnici, 2021). Istraživanja sugeriraju u korištenje varijable prosječne brzine u situacijama kada se mjere ne – balističke aktivnosti zbog odsutnosti faze leta tijela ili objekta, dok se vršna brzina potiče u korištenje balističkih aktivnosti (Weakley i suradnici, 2021). Zbog svoje visoke pouzdanosti, spomenute varijable su vrlo česti predmet mjerenja u znanstvenoj i sportskoj praksi kada je u pitanju trening s opterećenjem (García-Ramos i suradnici, 2018).

U svrhu objektivnog praćenja željenih varijabli, na tržištu se posljednjih godina razvio čitav niz različitih mjernih uređaja za VBT. Zlatni standard u mjerenju potrebnih kinetičkih i kinematičkih parametara smatra se 3 – dimenzionalni sustav s kamerama za mjerenje brzine

(Weakley i suradnici, 2021). Međutim, zbog teže financijske dostupnosti, neprenosivosti te smanjene praktičnosti javila se potreba za manjim i lakše dostupnim mjernim uređajima (Perez-Castilla i suradnici, 2019). Istraživanja navode kako su LPT uređaji (eng. *Linear Position Transducer*) te akcelerometri najčešće primjenjivane alternative u znanosti i sportskoj praksi (Weakley i suradnici, 2021). Kako bi pratili trend dostupnosti i praktičnosti, posljednjih godina javljaju se mobilne aplikacije koje putem mobilnog sustava kamera detektiraju i mjere različite kinematičke varijable (Balsalobre-Fernández i suradnici, 2017). Upravo navedena tehnologija izaziva znanstveni interes i novi pogled na praktični rad u treningu s opterećenjem.

Dosadašnja istraživanja izučavala su metrijske karakteristike svega par mobilnih aplikacija za VBT obzirom da na tržištu postoji tek nekoliko njih, među kojima je najpoznatija *MyLift* aplikacija (preinaka od *PowerLift*). Balsalobre-Fernández i suradnici (2018) istraživali su valjanost i pouzdanost mobilne aplikacije *PowerLift* kod 10 visoko treniranih *Powerlifting* natjecatelja kod procjene 1RM-a u vježbi potisak s ravne klupe u odnosu na LPT uređaj te došli do zaključka o vrlo visokoj korelaciji ($r = 0,994$) između uređaja u varijabli srednje brzine. Također, statistički značajna ($p < 0,05$) pouzdanost je izmjerena putem intraklasnog koeficijenta korelacije ($ICC = 0,965$) među oba uređaja, kao i visoka korelacija ($r = 0,98$) između stvarne i procijenjene vrijednosti 1RM-a.

Perez-Castilla i suradnici (2018) istraživali su pouzdanost 7 komercijalno dostupnih uređaja za VBT, među kojima je bila *MyLift* aplikacija, u svrhu procjene 1RM-a u vježbi potisak s ravne klupe na Smith trenažeru. Ispitanici su bili dužni izvesti po 3 ponavljanja na opterećenju od 45, 55, 65, 75 i 85% 1RM-a. Rezultati su pokazali kako je mobilna aplikacija treći najpouzdaniji mjerni uređaj u varijabli srednje brzine s koeficijentom varijacije od 3,97% te statistički značajnom visokom korelacijom ($r = 0,947$) u odnosu na „zlatni standard“, kao i prisutnim, statistički značajnim, visokim intraklasnim koeficijentom korelacije.

Osim kinetičkih vrijednosti, spomenute mobilne aplikacije pružaju i vrlo visoku valjanost u nekim kinematičkim parametrima, što su dokazali Balsalobre-Fernández i suradnici (2020) prateći trajektoriju olimpijske šipke u vježbi nabačaj pri različitim opterećenjima, u usporedbi s 3-D kinematičkim sustavom kamera. Istraživači su došli do zaključka u postojanje, statistički značajne, snažne do vrlo snažne korelacije ($r = 0,729 - 0,902$; $p < 0,05$) tvrdeći kako mobilne aplikacije mogu pružiti valjane biomehaničke vrijednosti o amplitudi pokreta olimpijske šipke u usporedbi sa „zlatnim standardom“.

Zbog pozitivnih znanstvenih nalaza, financijske dostupnosti i praktičnosti, na tržištu su se počele razvijati nove trenažne tehnologije po uzoru na postojeće. Prijašnjih godina pojavila se nova iOS mobilna aplikacija pod nazivom *MetricVBT* (Core Advantage, Melbourne, Australija). Riječ je o mobilnoj aplikaciji koja funkcionira putem mobilnog sustava kamera prateći različite kinetičke i kinematičke parametre uz pomoć umjetne inteligencije. Zbog svoje relativne novosti, ne postoji dovoljan broj studija koje su istraživale i mjerile njene bitne metrijske karakteristike poput valjanosti i raznih oblika pouzdanosti.

Tober i suradnici (2022) su proveli probno istraživanje valjanosti i pouzdanosti *MetricVBT* aplikacije u usporedbi s optičkim sustavom kamera u vježbama čučnja, mrtvog dizanja i potiska s ravne klupe. Istraživanju je pristupio jedan ispitanik. Sve vježbe izvedene su s 40 kg opterećenja u dvije serije od po osam ponavljanja. U prvoj seriji naglasak je bio na sporo izvođenje koncentričnog dijela pokreta, dok je u drugoj seriji naglasak stavljen na brzo izvođenje. Rezultati su pokazali vrlo visoku korelaciju za varijable amplitude pokreta ($r = 0,9862$) i srednje brzine ($r = 0,9841$) u odnosu na „zlatni standard“. Obzirom da se radilo o pilot istraživanju, čiji su rezultati objavljeni na *Metric VBT* web stranici te nisu pod okriljem niti jednog znanstvenog časopisa, istraživači su upozorili na nužnost provedbe dodatnih znanstvenih mjerenja kako bi se potvrdile trenutne spoznaje. To su napravili Taber i suradnici (2023) koji su ponovili protokol pilot istraživanja, međutim, ovog puta je testiranju pristupilo devet ispitanika. Rezultati ovog istraživanja su potvrdili nalaze iz prvotnog rada, govoreći o visokoj valjanosti i pouzdanosti mobilne aplikacije kroz tri vježbe pri različitim brzinama u promatranim varijablama. Nedostaci provedenih istraživanja ogledaju se u korištenje istog opterećenja kod svih ispitanika i u svim vježbama, obzirom kako postoje jasne inter-individualne razlike u % 1RM-a. Također, istraživači su koristili subjektivno određivanje tempa izvedbe pokreta čime dodatno odmičemo od konkretne objektivizacije metrijskih karakteristika.

Zbog malobrojnih dosadašnjih istraživanja i spomenutih nedostataka, problematika ovog diplomskog rada se ogleda u objektiviziranom utvrđivanju bitnih metrijskih karakteristika mobilne aplikacije u ponekim mjernim varijablama. Također, temeljem dosadašnjih spoznaja, ovo je prvi rad koji će istraživati metrijske karakteristike spomenutog mjernog uređaja kroz veći raspon opterećenja, kako bi dobiveni rezultati dobili na praktičnom značaju.

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Cilj ovog diplomskog rada je utvrditi metrijske karakteristike valjanosti i pouzdanosti mobilne aplikacije *Metric VBT* u vježbi potisak s ravne klupe kroz niz različitih opterećenja izraženih u % 1RM-a.

Shodno cilju, postavljene su dvije hipoteze istraživanja:

H1 = postoji statistički značajna valjanost mobilne aplikacije za VBT u promatranim varijablama

H2 = postoji statistički značajna pouzdanost mobilne aplikacije za VBT u promatranim varijablama

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Uzorak ispitanika

Istraživanju je svojevolumno pristupilo petnaest (15) muških ispitanika (dob $24,2 \pm 1,6$ godina; visina $183,8 \pm 7,51$ cm; tjelesna masa $87,8 \pm 8,5$ kg) s iskustvom u treningu s opterećenjem te vježbi potisak s ravne klupe u trajanju od najmanje dvije (2) godine. Kriterij za uvrštavanje ispitanika bio je izostanak mišićno – koštanih i drugih zdravstvenih teškoća. Od ispitanika se zahtijevalo da ne prakticiraju bilo koju vrstu treninga s opterećenjem najmanje 48 sati prije testiranja. Broj ispitanika potrebnih za istraživanje računao se putem programske podrške za utvrđivanje statističke snage G*Power (verzija 3.1) (*effect size* [ES] = 0,5; α = ,05; *power* = 0,8). Etičko povjerenstvo Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu izdalo je odobrenje za provedbu istraživanja te su svi ispitanici potpisali pismeni pristanak za sudjelovanje u istraživanju (broj odobrenja: 67/2024).

3.2. Opis protokola istraživanja

Istraživanje se provodilo u prostorijama Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te je trajalo jedan dan. Prije provedbe samog testiranja, verbalno je, među ispitanicima, procijenjena vrijednost 1RM-a u vježbi potisak s ravne klupe. Mjerenju je prethodilo desetominutno dinamičko zagrijavanje cijelog tijela s posebnim naglaskom na regije ramenog pojasa. Potom je ispitanicima predstavljen cjelokupni protokol istraživanja te su upoznati s osobitostima rada VBT uređaja. Od ispitanika se zahtijevalo izvođenje 3 maksimalno brza koncentrična ponavljanja pri opterećenju od 30, 45, 60 i 75% 1RM-a. Pauze između pojedinih opterećenja iznosile su tri (3) minute. Za vrijeme izvođenja vježbe, LPT uređaj za mjerenje brzine *Vitruve* (alias *Speed4Lift*, Madrid, Španjolska) privezan je za jedan od krajeva olimpijske šipke pomoću čičak remena, dok je kamera mobilnog uređaja okomito pričvršćena za stativ na visini i udaljenosti pri kojoj je moguće očitati izvedbu pokreta. Nakon izvedenih ponavljanja se očitavaju i pohranjuju podaci koji će poslužiti za statističku obradu.

3.3. Opis mjernih instrumenata

Mjerenje mobilne aplikacije *Metric VBT* (verzija 4.5.0) provedeno je uz pomoć sustava kamera pametnog telefona (iPhone 13; Apple, CA, USA) na rezoluciji od 1080p i brzini uzorkovanja od 60 Hz. Trenutačna verzija aplikacije koristi prag od 0,1 m/s u okomitom smjeru za određivanja početka i kraja ponavljanja. To jest, ponavljanja su započela kada je brzina y – osi prešla 0,1 m/s i prestala kada je ta brzina bila ispod 0,1 m/s. Aplikacija ne očitava kretnje koje su načinjene u x – osi. Za usporedbu metrijskih karakteristika aplikacije koristio se LPT uređaj *Vitruve* (alias *Speed4Lift*, Madrid, Španjolska) koji je u prijašnjim radovima zadovoljio visoku razinu valjanosti i pouzdanosti (Perez-Castilla i suradnici, 2018). Uređaj je uz pomoć konopca na izvlačenje privezan remenčićem za šipku. Podaci prikupljeni vertikalnim pomakom konopca unutar kućišta uređaja šalju se putem Wi – Fi konekcije u aplikaciju uređaja (*Vitruve Teams*, verzija 1.29) povezanu na tablet (iPad 10; Apple, CA, USA).

3.4. Uzorak varijabli

Promatrane varijable u ovom istraživanju bile su: (1) srednja ili prosječna brzina (m/s), (2) vršna brzina (m/s) i (3) amplituda pokreta (cm).

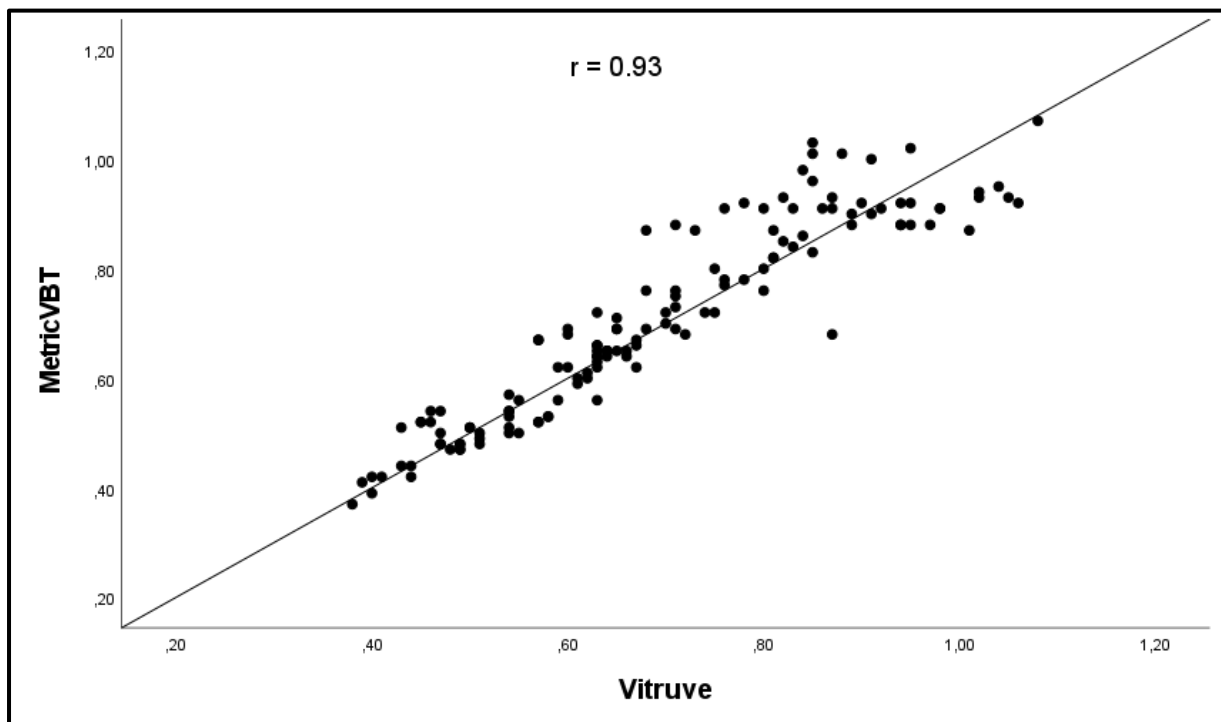
3.5. Metode obrade podataka

Za utvrđivanje valjanosti između dva mjerna uređaja u promatranim varijablama koristio se Pearsonov produkt – moment koeficijent korelacije (r) uz pomoć Hopkinsove skale koja utvrđuje trivijalnu (0,0 – 0,1), nisku (0,1 – 0,3), srednju (0,3 – 0,5), visoku (0,5 – 0,7), jako visoku (0,7 – 0,9) i skoro savršenu (0,9 – 1) povezanost varijabli (Hopkins, 2000). S druge strane, pouzdanost se utvrđivala uz pomoć intraklasnog koeficijenta korelacija (ICC) interpretirajući rezultate prema skali: slab ($< 0,50$), umjeren (0,50 – 0,75), dobar (0,75 – 0,90) i odličan ($> 0,90$) (Koo i Li, 2016). Varijacije unutar rezultata jednog ispitanika određene su uz pomoć koeficijenta varijacije (CV) te je prihvaćena razina varijabilnosti postavljena na $< 10\%$ (Cormack i suradnici, 2008). Standardna pogreška mjerenja (SEM) utvrdila se pomoću t – testa za zavisne uzorke, dok se uz pomoć Bland – Altmanovog dijagrama grafički prikazala potencijalna razina sistematske pogreške između dva mjerna uređaja. Razina statističke značajnosti određena je na $p < 0,05$. Svi podaci statistički su obrađeni u IBM SPSS programskoj podršci (verzija 27, SPSS Inc., an IBM Company, Chicago, IL, USA).

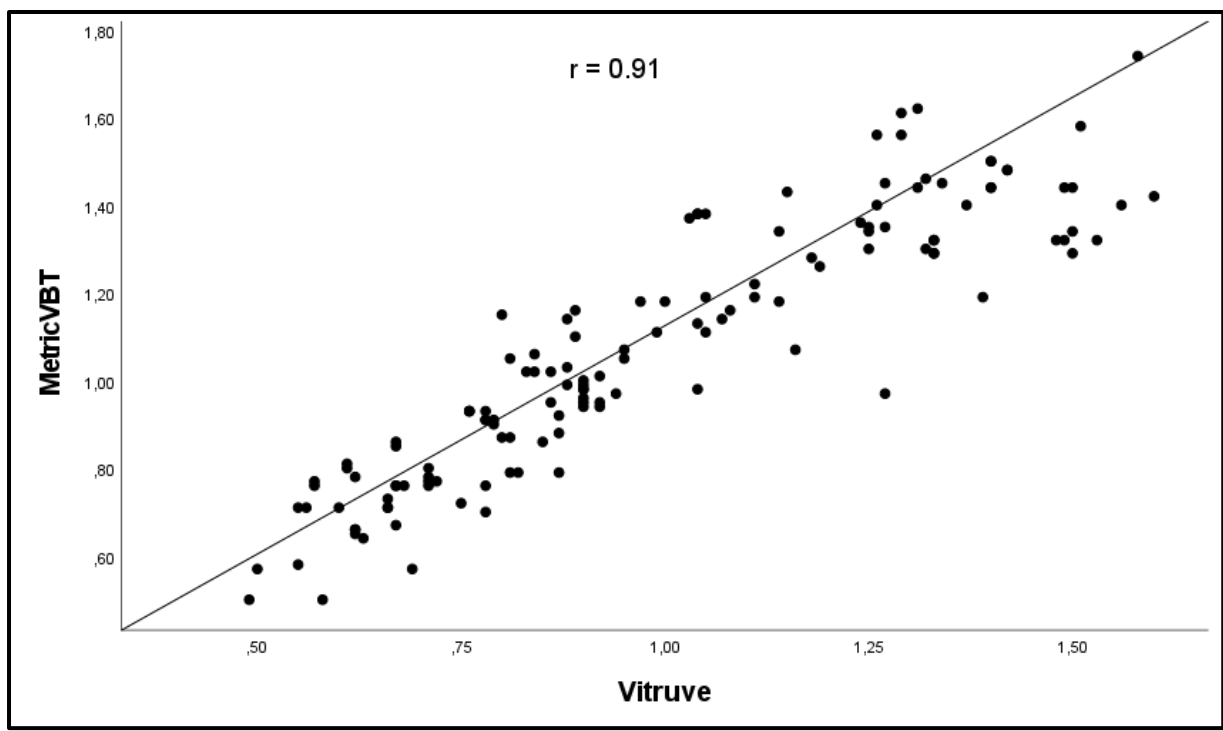
4. REZULTATI

Zbog teškoća i nemogućnosti očitavanja vrijednosti varijabli prilikom provedbe istraživanja pri opterećenju od 30% 1RM-a, spomenuta vrijednost je isključena iz statističke obrade i interpretacije kod svih ispitanika. Daljnja statistička analiza uključivala je vrijednosti od 45%, 60% i 75% 1RM-a u svim varijablama.

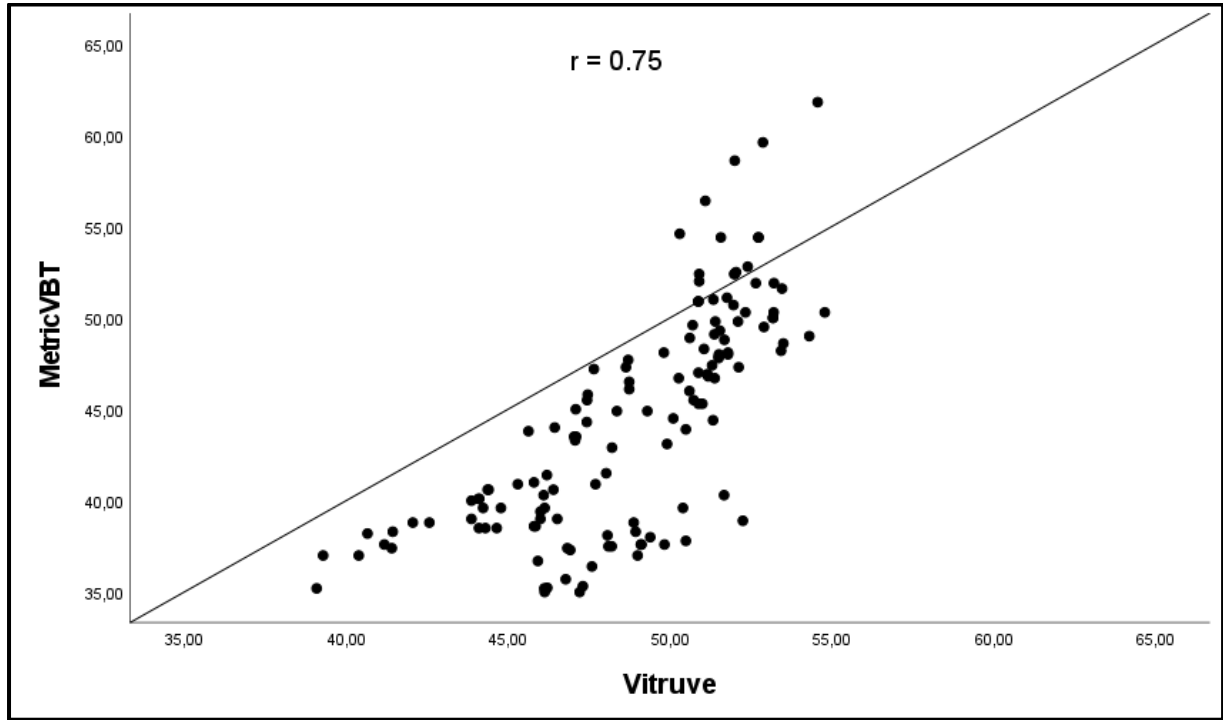
Svi podaci prezentirani su kao vrijednosti aritmetičke sredine \pm standardne devijacije. Analizom ukupnog broja ponavljanja svih ispitanika (135) uz pomoć Pearsonovog produkt – moment koeficijenta korelacije (r) ustvrđena je statistički značajna, jako visoka te skoro savršena, povezanost između dva mjerna uređaja u varijablama srednje brzine ($r = 0,93$; $p < 0,05$; Slika 1), vršne brzine ($r = 0,91$; $p < 0,05$; Slika 2) i amplitude pokreta ($r = 0,75$; $p < 0,05$; Slika 3). Također, snaga povezanosti za mjerni uređaj *Metric VBT* se mjerila uz pomoć linearne regresijske jednadžbe između prosječne vrijednosti brzine pokreta (m/s) pri zadanim opterećenjima (45%, 60% i 75% 1RM-a) za varijable srednje brzine ($R^2 = 0,999$; $p < 0,05$) i vršne brzine ($R^2 = 0,989$; $p < 0,05$).



Slika 1. Povezanost između dva mjerna uređaja u varijabli srednje brzine (m/s)



Slika 2. Povezanost između dva mjerna uređaja u varijabli vršne brzine (m/s)



Slika 3. Povezanost između dva mjerna uređaja u varijabli amplitude pokreta (cm)

U Tablici 1 prikazane su vrijednosti valjanosti i pouzdanosti za pojedinačna opterećenja u varijabli srednje brzine (m/s). Rezultati prikazuju statistički značajnu ($p < 0,05$), srednju i jako visoku, povezanost između dva mjerna uređaja za opterećenja od 45% ($r = 0,47$), 60% ($r = 0,85$) i 75% ($r = 0,89$) 1RM-a. Također, pouzdanost za pojedinačna ponavljanja u promatranim opterećenjima za *Metric VBT* uređaj ukazuju na postojanje odlične dosljednosti i male varijabilnosti rezultata za 45% (ICC = 0,929; CI = 0,831 – 0,974; CV = 3,91%), 60% (ICC = 0,952; CI = 0,887 – 0,983; CV = 4,74%) i 75% (ICC = 0,945; CI = 0,869 – 0,980; CV = 7,09%) 1 RM – a.

Tablica 1. Rezultati valjanosti i pouzdanosti u varijabli srednje brzine

%1RM	r	ICC (95% CI)	CV (%)
45	0,47	0,929 (0,831-0,974)	3,91
60	0,85	0,952 (0,887-0,983)	4,74
75	0,89	0,945 (0,869-0,980)	7,09

Legenda: 1RM – one repetition maximum; r – Pearsonov produkt – moment koeficijent korelacije; ICC – intraklasni koeficijent korelacije; CI – interval pouzdanosti; CV – koeficijent varijacije

U Tablici 2 prikazane su vrijednosti valjanosti i pouzdanosti za pojedinačna opterećenja u varijabli vršne brzine (m/s). Rezultati prikazuju statistički značajnu ($p < 0,05$), jako visoku, povezanost za 60% ($r = 0,79$) i 75% ($r = 0,81$) 1RM-a, dok vrijednost od 45% 1RM-a ne ostvaruje statistički značajnu povezanost ($r = 0,28$; $p > 0,05$). Također, pouzdanost za pojedinačna ponavljanja u promatranim opterećenjima ukazuju na postojanje odlične dosljednosti i male varijabilnosti rezultata za 45% (ICC = 0,893; CI = 0,747 – 0,961; CV = 4,90%), 60% (ICC = 0,966; CI = 0,920 – 0,988; CV = 5,94%) i 75% (ICC = 0,921; CI = 0,813 – 0,971; CV = 9,41%) 1 RM – a.

Tablica 2. Rezultati valjanosti i pouzdanosti u varijabli vršne brzine

%1RM	r	ICC (95% CI)	CV (%)
45	0,28	0,893 (0,747-0,961)	4,90
60	0,79	0,966 (0,920-0,988)	5,94
75	0,81	0,921 (0,813-0,971)	9,41

Legenda: 1RM – one repetition maximum; r – Pearsonov produkt – moment koeficijent korelacije; ICC – intraklasni koeficijent korelacije; CI – interval pouzdanosti; CV – koeficijent varijacije

U Tablici 3 prikazane su vrijednosti valjanosti i pouzdanosti za pojedinačna opterećenja u varijabli amplitude pokreta (cm). Rezultati prikazuju statistički značajnu ($p < 0,05$) jako visoku povezanost između dva mjerna uređaja za opterećenja od 45% ($r = 0,71$), 60% ($r = 0,79$) i 75% ($r = 0,77$) 1RM-a. Također, pouzdanost za pojedinačna ponavljanja u promatranim opterećenjima ukazuju na postojanje odlične dosljednosti i male varijabilnosti rezultata za 45% (ICC = 0,970; CI = 0,928 – 0,989; CV = 3,91%), 60% (ICC = 0,954; CI = 0,892 – 0,983; CV = 3,12%) i 75% (ICC = 0,974; CI = 0,938 – 0,991; CV = 3,07%) 1 RM – a.

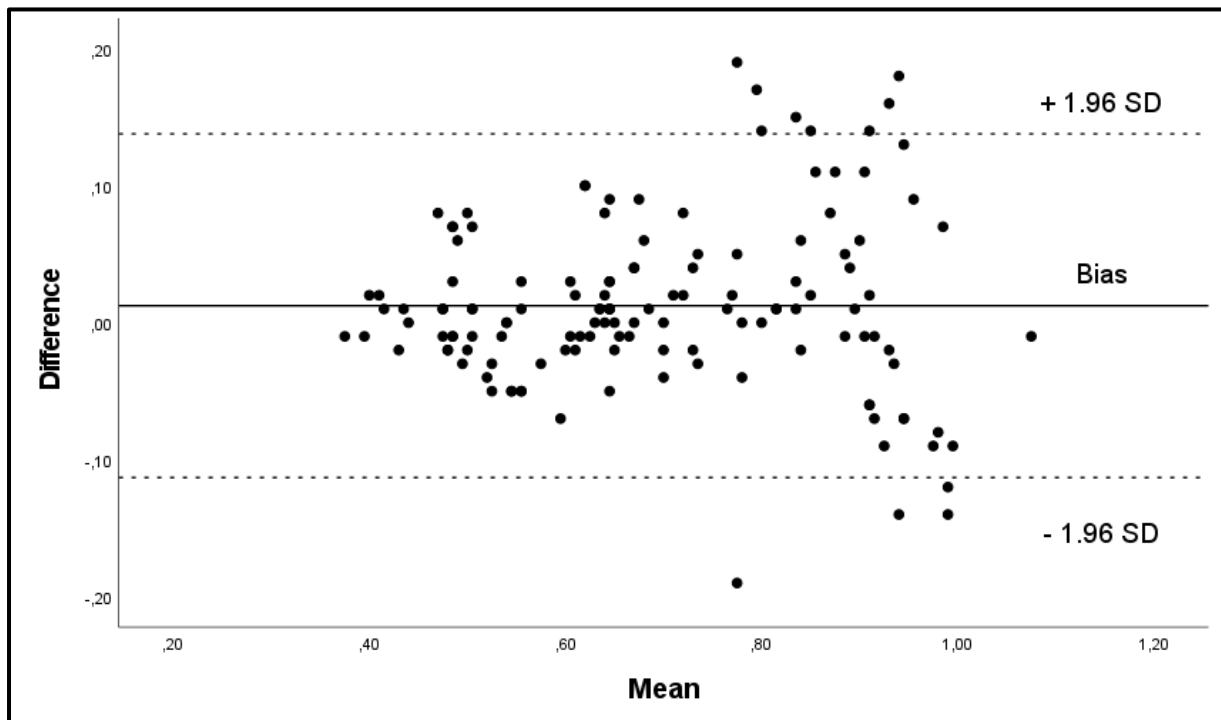
Tablica 3. Rezultati valjanosti i pouzdanosti u varijabli amplitude pokreta

%1RM	r	ICC (95% CI)	CV (%)
45	0,71	0,970 (0,928-0,989)	3,91
60	0,79	0,954 (0,892-0,983)	3,12
75	0,77	0,974 (0,938-0,991)	3,07

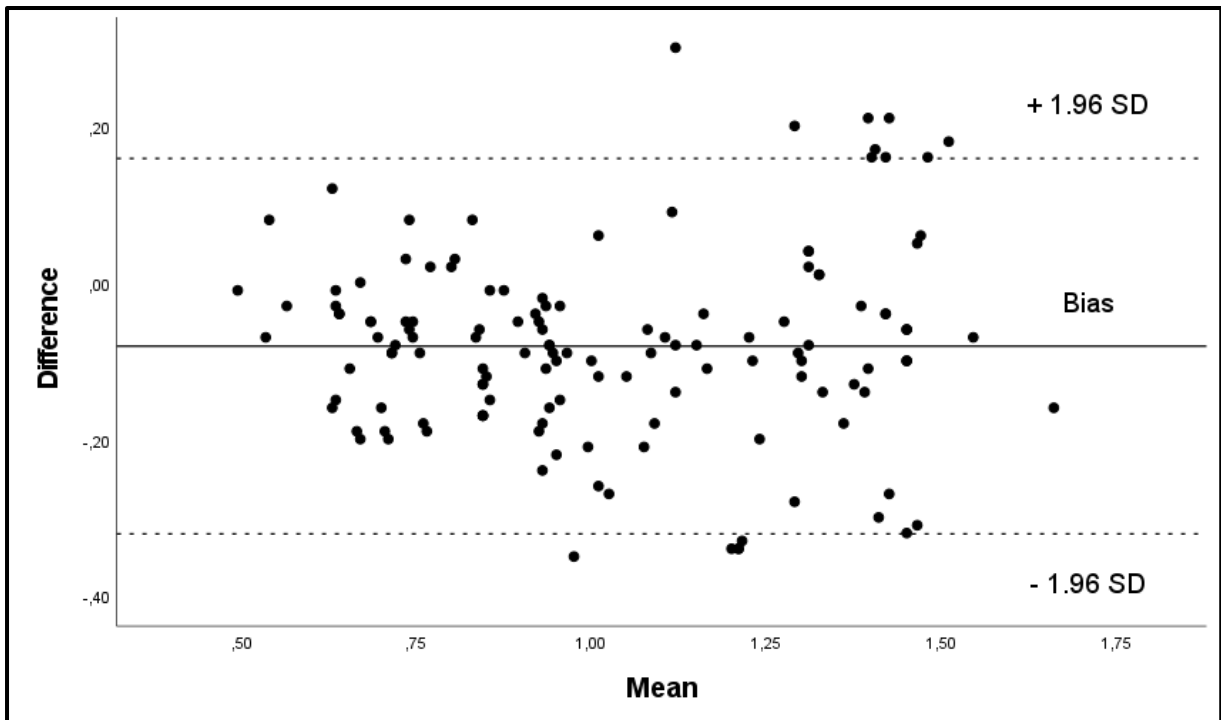
Legenda: 1RM – one repetition maximum; r – Pearsonov produkt – moment koeficijent korelacije; ICC – intraklasni koeficijent korelacije; CI – interval pouzdanosti; CV – koeficijent varijacije

T – testom za zavisne uzorke utvrđena je razina standardne pogreške mjerenja (SEM) za varijable srednje brzine (*Metric VBT* = $0,70 \pm 0,18$ m/s; *Vitruve* = $0,69 \pm 0,17$ m/s; SEM = $0,01 \pm 0,06$ m/s; $p < 0,05$), vršne brzine (*Metric VBT* = $0,99 \pm 0,30$ m/s; *Vitruve* = $1,06 \pm 0,29$ m/s; SEM = $-0,08 \pm 0,12$ m/s; $p < 0,05$) te amplitude pokreta (*Metric VBT* = $48,79 \pm 3,47$ cm; *Vitruve* = $44,40 \pm 6,04$ cm; SEM = $4,38 \pm 4,14$ cm; $p < 0,05$) čime se dolazi do zaključka o postojanju statistički značajnog precjenjivanja vrijednosti za varijable srednje brzine i amplitude pokreta, te podcjenjivanja vrijednosti za varijablu vršne brzine od strane *Metric VBT* uređaja.

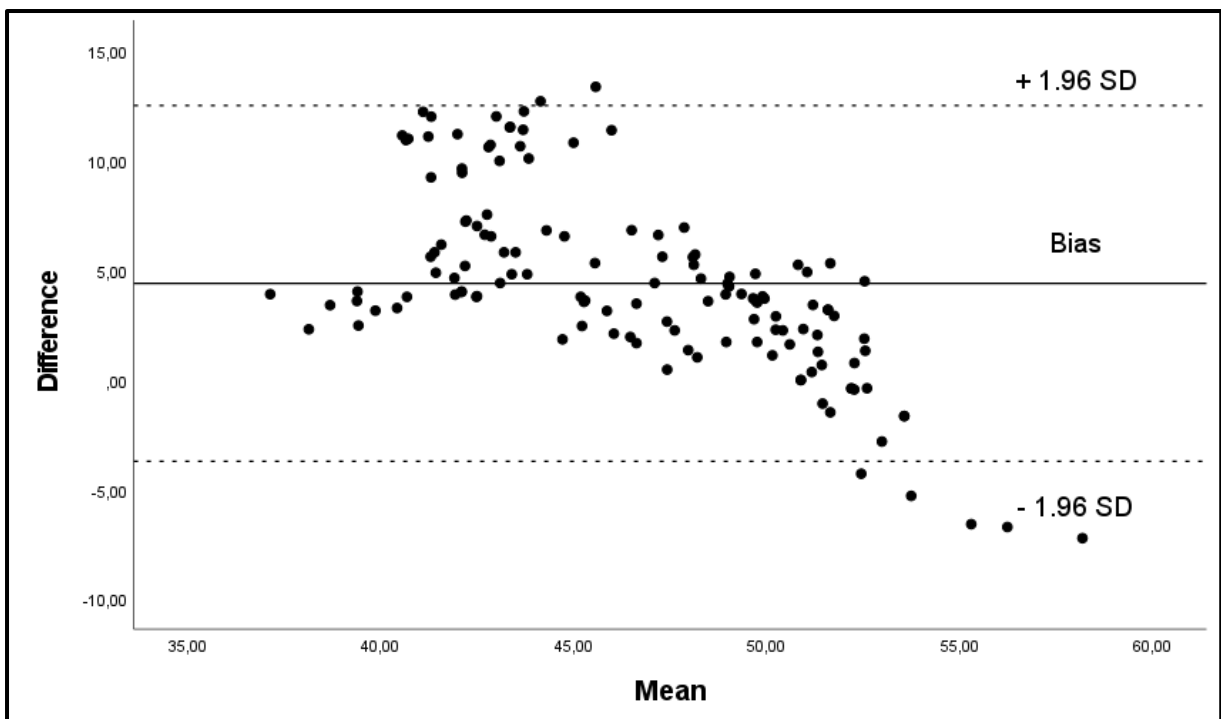
Putem Bland – Altman dijagrama grafički su prikazane razine sistematske pogreške za varijable srednje brzine (Slika 4), vršne brzine (Slika 5) i amplitude pokreta (Slika 6). Na x – osi prikazane su srednje vrijednosti (eng. *mean*) dva mjerna uređaja, dok su na y – osi prikazane njihove razlike (eng. *difference*) izražene u vrijednosti standardne devijacije (eng. *standard deviation*, SD). Središnja linija predstavlja sistematsku pogrešku između dva mjerna uređaja, dok gornja i donja isprekidana linija predstavlja granicu $\pm 1,96$ SD.



Slika 4. Bland – Altman dijagram između dva mjerna uređaja u varijabli srednje brzine (m/s)



Slika 5. Bland – Altman dijagram između dva mjerna uređaja u varijabli vršne brzine (m/s)



Slika 6. Bland – Altman dijagram između dva mjerna uređaja u varijabli amplitude pokreta (cm)

5. RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja nalažu kako je *Metric VBT* mjerni uređaj statistički značajno ($p < 0,05$) valjan i pouzdan u varijablama srednje (m/s) i vršne (m/s) brzine te amplitude pokreta (cm) pri opterećenjima od 45%, 60% i 75% 1RM-a u vježbi potisak s ravne klupe.

Prvotna zamisao istraživanja je bila, uz spomenuta opterećenja, testirati i metrijske karakteristike pri 30% 1RM-a. Međutim, zbog teškoća prilikom očitavanja vrijednosti tokom izvođenja ponavljanja, navedena vrijednost je bila isključena iz daljnje statističke obrade. Razlog ovakvog ishoda može biti objašnjen činjenicom da je za manja opterećenja potrebno korištenje utega (eng. *bumper plate*) kraćeg dijametra što mobilni sustav kamera teže očitava. Obzirom kako su gotovo svi ispitanici rekreativni vježbači, teže je bilo za očekivati veću razinu 1RM-a. Uz to, ponavljanja izvedena velikom brzinom pokreta su sklonija većoj sistemskoj pogrešci kod mobilnih aplikacija za VBT u odnosu na druge uređaje (Martínez-Cava i suradnici, 2020). Ovakvi rezultati oprečni su nalazima koje su dobili drugi istraživači navodeći kako mobilne aplikacije za VBT ostvaruju vrlo visoku korelaciju pri manjim opterećenjima i većim brzinama pokreta u ponekim varijablama brzine pri različitim vježbama (Perez-Castilla i suradnici, 2021; Taber i suradnici, 2023).

S druge strane, uočeno je kako *Metric VBT* mjerni uređaj ostvaruje statistički značajnu jako visoku do skoro savršenu povezanost u varijablama srednje brzine ($r = 0,93$; $p < 0,05$), vršne brzine ($r = 0,91$; $p < 0,05$) te amplitude pokreta ($r = 0,75$; $p < 0,05$) uzimajući u obzir ukupni broj ponavljanja pri svim opterećenjima, što je u skladu s prijašnjim istraživanjima o mobilnim aplikacijama za VBT (Taber i suradnici, 2023; Balsalobre-Fernández i suradnici, 2023; De Sá i suradnici, 2019). Pri tom je potrebno pažnju usmjeriti na pojedinačna opterećenja u kojima 45% 1RM-a ostvaruju nisku do srednju povezanost u varijablama srednje ($r = 0,47$) i vršne brzine ($r = 0,28$) čime se stavlja na oprez uporaba mjernog uređaja za spomenuta opterećenja u promatranim varijablama. Razliku čine opterećenja od 60 i 75% 1RM-a koja govore o statistički značajnoj ($p < 0,05$) jako visokoj korelaciji za varijable srednje ($r = 0,85 - 0,89$) i vršne brzine ($r = 0,79 - 0,81$) te amplitude pokreta ($r = 0,77 - 0,79$) čime spomenuti rezultati dobivaju na praktičnom značaju i ukazuju u visoku sigurnost njihovog korištenja.

Osim razlike u povezanosti, standardnom pogreškom mjerenja (SEM) utvrdila se razina sistematske pogreške između dva mjerna uređaja za varijable srednje brzine ($SEM = 0,01 \pm 0,06$ m/s; $p < 0,05$), vršne brzine ($SEM = -0,08 \pm 0,12$ m/s; $p < 0,05$) te amplitude pokreta ($SEM = 4,38 \pm 4,14$ cm; $p < 0,05$) čime se govori o statistički značajnom precjenjivanju vrijednosti za varijable srednje brzine i amplitude pokreta, te podcjenjivanju vrijednosti za varijablu vršne brzine. González-Badillo i Sánchez-Medina (2010) objašnjavaju kako promjena veća od 0,07 m/s u varijabli srednje brzine može označavati promjenu u razini jakosti. Samim time moguće je tvrditi kako varijabla srednje brzine ima prihvaćenu razinu sistematske pogreške. S druge strane, varijabla vršne brzine ostvaruje razinu sistematske pogreške veću od 0,07 m/s te se shodno tome mora koristiti s oprezom. Ovakve različitosti mogu biti objašnjene u smislu karakterističnosti dva zasebna mjerna sustava u kojem LPT uređaj ostvaruje brzinu uzorkovanja do 1000 Hz, dok mobilna aplikacija uz pomoć sustava kamera pametnog telefona ostvaruju znatno manju brzinu uzorkovanja od 60 Hz o čemu je bilo govora u dosadašnjim istraživanjima (Garnacho-Castaño i suradnici, 2015).

Govoreći o pouzdanosti mjerenoj uz pomoć intraklasnog koeficijenta korelacije (ICC) za pojedinačna ponavljanja dolazi se do zaključka o postojanju odlične konzistentnosti rezultata statističkog značaja ($p < 0,05$) pri svim opterećenjima (45%, 60% i 75% 1 RM – a) u varijablama srednje brzine (m/s), vršne brzine (m/s) i amplitude pokreta (cm) što je u skladu s prethodnim istraživanjima o VBT mobilnim aplikacijama (Taber i suradnici, 2023; Silva i suradnici, 2021). Varijacije unutar rezultata jednog ispitanika objašnjene pomoću koeficijenta varijacije (CV) govore o prihvaćenoj razini varijabilnosti (<10%) pri svim opterećenjima u promatranim varijablama. Najveća razina varijabilnosti zabilježena je za opterećenja od 75% 1RM-a u varijablama srednje (7,09%) i vršne (9,41%) brzine. Ovakvi rezultati mogu biti objašnjeni temeljem inverzivog odnosa brzine pokreta i opterećenja koje se savladava, gdje svakim povećanjem opterećenja ili broja ponavljanja dolazi do pojave umora što rezultira opadanjem brzine pokreta, čime navedena pretpostavka nalaže kako veća varijabilnost ne mora nužno biti produkt mjernog instrumenta, već čovjeka (Thompson i suradnici, 2020). U konačnici, mobilna aplikacija zadovoljava visoku razinu pouzdanosti za pojedinačna ponavljanja te prihvatljivu varijabilnost rezultata čime postaje metrijski opravdana i sigurna za korištenje.

Ovaj rad nije prošao bez ograničenja. Jedno od njih je definiranje 1RM-a u vježbi potisak s ravne klupe verbalnim putem među ispitanicima. Razlog ovakvog odabira je bio logističkog tipa u kojem se trajanje testiranja htjelo svesti na jedan dan. Samim time moguće posljedice su u smislu krive procjene maksimalne jakosti što može rezultirati podcjenjivanjem ili precjenjivanjem rezultata u promatranim varijabla te utjecati na pogrešnu interpretaciju rezultata. Također, nije se htjelo ići u provedbu testiranja 1RM-a i profiliranja ispitanika unutar istog dana zbog mogućeg transfera umora s jednog protokola na drugi. Isto tako, testiranje se provodilo u vježbi sa slobodnim utezima pri čemu postoji veća varijabilnost rezultata u odnosu na vježbanje na trenažerima zbog veće slobode pokreta. Navedena pretpostavka se ne smatra velikim nedostatkom obzirom kako se u praktičnim uvjetima VBT koristi i sa širokim rasponom vježbi u kojima prevladava korištenje slobodnih utega. Sljedeće ograničenje javlja se u smislu ne provođenja test – retest pouzdanosti pri čemu je potrebno definirati konzistentnost podataka između više dana, što je također vrlo važno po pitanju praktičnog značaja. Buduća istraživanja se, uza sva spomenuta ograničenja, trebaju okrenuti ispitivanju metrijskih karakteristika mobilne aplikacije u balističkim vježbama poput skokova s opterećenjem i različitih derivata olimpijskih dizanja koja vrlo često znaju biti okosnica trenažnih programa, a o kojima još ne postoje istraživanja takvog formata.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio utvrditi metrijske karakteristike valjanosti i pouzdanosti mobilne aplikacije *Metric VBT* u odnosu na LPT uređaj u vježbi potisak s ravne klupe. Rezultati istraživanja ukazuju u statistički značajnu ($p < 0,05$) valjanost i pouzdanost mobilne aplikacije za VBT pri opterećenjima od 45%, 60% i 75% 1RM-a u varijablama srednje brzine (m/s), vršne brzine (m/s) i amplitude pokreta (cm) prilikom čega se dolazi do prihvaćanja prve i druge hipoteze istraživanja. Statistički značajno veća razina valjanosti mjerena pomoću koeficijenta korelacije (r) ostvarena je za opterećenja od 60% i 75% 1RM-a u svim varijablama čime se predlaže uporaba mobilne aplikacije za veća opterećenja obzirom kako postoji mogućnost očitavanja pogrešnih rezultata ili neočitavanja podataka uopće pri nižim opterećenjima. Razinom standardne pogreške mjerenja (SEM) utvrđeno je prihvatljivo odstupanje rezultata u varijabli srednje brzine (m/s), dok u varijabli vršne brzine (m/s) postoji veća razina odstupanja pri čemu se spomenuta varijabla treba evaluirati s oprezom. Pouzdanost mjerena intraklasnim koeficijentom korelacije (ICC) i koeficijentom varijacije (CV) ukazuje u postojanje odlične ponovljivosti i male varijabilnosti rezultata u svim varijablama te pri svim opterećenjima. Ovakvi nalazi govore da usprkos postojanju sistematske pogreške i umjerene do visoke korelacije pri svim opterećenjima u ponekim varijablama mobilna aplikacija postaje praktično opravdana zahvaljujući vrlo visokim razinama pouzdanosti. U stvarnim uvjetima, pouzdanost postaje puno bitnija karakteristika od valjanosti jer ukoliko mjerni instrument učestalo prikazuje istu sistematsku pogrešku, a pri tom je kontinuirano dosljedan po pitanju rezultata, tada je moguće pratiti trend promjena ukoliko se trenažni proces provodi u istim uvjetima. Ipak, u budućnosti je potrebno provesti opsežnija znanstvena istraživanja koja obuhvaćaju uzorak ispitanica, ostale varijante kompleksnih vježbi poput čučnja i mrtvog dizanja, kao i primjenu različitih vježbi balističkog tipa poput nabačaja i trzaja te utvrđivanja test – retest pouzdanosti.

7. LITERATURA

- Balsalobre-Fernández, C., Geiser, G., Krzyszkowski, J. i Kipp, K. (2020). Validity and reliability of a computer - vision-based smartphone app for measuring barbell trajectory during the snatch. *Journal of sports sciences*, 38(6), 710-716. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1729453>
- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Baz-Valle, E., Alonso-Molero, I., Jiménez, S. L. i Muñoz-López, M. (2017). Analysis of wearable and smartphone - based technologies for the measurement of barbell velocity in different resistance training exercises. *Frontiers in physiology*, 8, 649. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00649>
- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Muñoz-López, M. i Jiménez, S. L. (2018). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench - press exercise. *Journal of sports sciences*, 36(1), 64-70. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1280610>
- Balsalobre-Fernández, C., Xu, J., Jarvis, P., Thompson, S., Tannion, K. i Bishop, C. (2023). Validity of a smartphone app using artificial intelligence for the real - time measurement of barbell velocity in the bench press exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(12), e640-e645 <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004593>
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M. i Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports medicine*, 35, 841-851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. i Doyle, T. L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International journal of sports physiology and performance*, 3(2), 131-144. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>
- Crewther, B., Cronin, J. i Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports medicine*, 35, 967-989. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535110-00004>

- De Sá, E. C., Medeiros, A. R., Ferreira, A. S., Ramos, A. G., Janicijevic, D. i Boullosa, D. (2019). Validity of the iLOAD® app for resistance training monitoring. *PeerJ*, 7. <https://doi.org/10.7717/peerj.7372>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J. i Haff, G. G. (2018). Mean velocity vs. mean propulsive velocity vs. peak velocity: which variable determines bench press relative load with higher reliability?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1273-1279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>
- Garnacho-Castaño, M. V., López-Lastra, S. i Maté-Muñoz, J. L. (2015). Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of sports science & medicine*, 14(1), 128.
- González-Badillo, J. J. i Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine*, 31(05), 347-352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- González-Badillo, J. J., Yañez-García, J. M., Mora-Custodio, R. i Rodríguez-Rosell, D. (2017). Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *International journal of sports medicine*, 38(03), 217-225. <https://doi.org/10.1055/s-0042-120324>
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine*, 30, 1-15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>
- Izquierdo, M., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., ... Gorostiaga, E. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International journal of sports medicine*, 27(09), 718-724. <https://doi.org/10.1055/s-2005-872825>
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J. M. i Cronin, J. B. (2011). Using the load - velocity relationship for 1RM prediction. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 267-270. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f>

- Jovanović, M. i Flanagan, E.P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *Journal of Australian Strength & Conditioning*, 22(2), 58-69.
- Koo, T. K. i Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J. i Pallarés, J. G. (2020). Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. *PloS one*, 15(6), e0232465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232465>
- Milanović, D. (2013). *Teorija treninga*. Zagreb: Kineziološki fakultet.
- Pérez-Castilla, A., Boulosa, D. i García-Ramos, A. (2021). Reliability and validity of the iLOAD application for monitoring the mean set velocity during the back squat and bench press exercises performed against different loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35, S57-S65. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003739>
- Perez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G. i García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003118>
- Pestaña-Melero, F. L., Haff, G. G., Rojas, F. J., Pérez-Castilla, A. i García-Ramos, A. (2018). Reliability of the load - velocity relationship obtained through linear and polynomial regression models to predict the 1 - repetition maximum load. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(3), 184-190. <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0266>
- Richens, B. i Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biology of sport*, 31(2), 157. <https://doi.org/10.5604/20831862.1099047>

- Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P. i González-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical physiology and functional imaging*, 38(5), 743-762. <https://doi.org/10.1111/cpf.12495>
- Silva, R., Rico-Gonzalez, M., Lima, R., Akyildiz, Z., Pino-Ortega, J. i Clemente, F. M. (2021). Validity and reliability of mobile applications for assessing strength, power, velocity, and change-of-direction: A systematic review. *Sensors*, 21(8), 2623. <https://doi.org/10.3390/s21082623>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. i Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: training considerations. *Sports medicine*, 48, 765-785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
- Taber, C., Patterson, E., Shah, J., Francis, P. i Wager, J. C. (2023). Validity and reliability of a computer vision System to determine bar displacement and velocity. <https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.263>
- Thompson, S. W., Rogerson, D., Dorrell, H. F., Ruddock, A. i Barnes, A. (2020). The reliability and validity of current technologies for measuring barbell velocity in the free - weight back squat and power clean. *Sports*, 8(7), 94. <https://doi.org/10.3390/sport8070094>
- Tober, J. (6.4.2022.). Reliability and validity of the Metric VBT beta. Metric VBT. <https://www.metric.coach/articles/reliability-and-validity-of-metricvbt-beta>
- Weakley, J. J., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A., ... Jones, B. (2019). Visual feedback attenuates mean concentric barbell velocity loss and improves motivation, competitiveness, and perceived workload in male adolescent athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(9), 2420-2425. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002133>

Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T. i Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity - based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31-49. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000560>

Weir, J. P., i Vincent, W. J. (2020). *Statistics in kinesiology*. Human Kinetics Publishers.