

# ANALIZA RAZLIKA U RAZLIČITIM PROTOKOLIMA ZA PROCJENU VERTIKALNE KOMPONENTE SKOČNOSTI

---

**Martinko, Matej**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:117:693748>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

**Matej Martinko**

**ANALIZA RAZLIKA U RAZLIČITIM  
PROTOKOLIMA ZA PROCJENU VERTIKALNE  
KOMPONENTE SKOČNOSTI**

diplomski rad

Zagreb, rujan, 2023.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

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

**Naziv studija:** Kineziologija; **smjer:** Kineziologija u edukaciji i Jedrenje

**Vrsta studija:** sveučilišni

**Razina kvalifikacije:** integrirani prijediplomski i diplomski studij

**Studij za stjecanje akademskog naziva:** sveučilišni magistar kineziologije u edukaciji i jedrenju (univ. mag. cin.)

**Znanstveno područje:** Društvene znanosti

**Znanstveno polje:** Kineziologija

**Vrsta rada:** Znanstveno-istraživački

**Naziv diplomskog rada:** je prihvaćen od strane Povjerenstva za diplomске radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2022./2023. dana 28. travnja 2023.

**Mentor:** doc. dr. sc. *Vlatko Vučetić*

**Pomoć pri izradi:**

**Analiza razlika u različitim protokolima za procjenu vertikalne komponente skočnosti**

*Matej Martinko, 0034081371*

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

- |                                       |                             |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1. doc. dr. sc. <i>Vlatko Vučetić</i> | Predsjednik - <b>mentor</b> |
| 2. mag. cin. <i>Jere Gulin</i>        | član                        |
| 3. doc. dr. sc. <i>Marijo Baković</i> | član                        |
| 4. Izv. prof. dr. sc. <i>Saša Vuk</i> | zamjena člana               |

**Broj etičkog odobrenja:** 54/2023.

**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**  
Horvaćanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

**Title of study program: Kinesiology; course Kinesiology in Education and Sailing**

**Type of program: University**

**Level of qualification: Integrated undergraduate and graduate**

**Acquired title: University Master of Kinesiology in Education and Sailing**

**Scientific area: Social sciences**

**Scientific field: Kinesiology**

**Type of thesis: Scientific research**

**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 2022/2023 on April 28, 2023.

**Mentor:** *Vlatko Vučetić*, assistant prof.

**Technical support:**

**Analysis of differences in various protocols for assessing vertical jump performance**

*Matej Martinko*, 0034081371

**Thesis defence committee:**

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. <i>Vlatko Vučetić</i> , assistant prof. | chairperson-<br><b>supervisor</b> |
| 2. <i>Jere Gulin</i> , M.kin.              | member                            |
| 3. <i>Marijo Baković</i> , assistant prof. | member                            |
| 4. <i>Saša Vuk</i> , associate prof.       | substitute member                 |

**Ethics approval number:** 54/2023.

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited** in Library of the Faculty of Kinesiology,  
Horvacanski 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. Vlatko Vučetić

Student:

---

Matej Martinko

# ANALIZA RAZLIKA U RAZLIČITIM PROTOKOLIMA ZA PROCJENU VERTIKALNE KOMPONENTE SKOČNOSTI

## Sažetak

Testovi vertikalne komponente skočnosti bitan su dio sportske dijagnostike radi važnosti vertikalnog skoka u mnogim sportovima. Najčešće korišteni laboratorijski mjerni instrumenti uključuju skupu i nepraktičnu opremu u vidu platformi za mjerenje sile. Razvojem tehnologije i potrebom za instrumentima koji su jednostavniji u primjeni, instrumenti poput video tehnologije i inercijskih mjernih jedinica postaju sve korišteniji alati u sportskoj dijagnostici. Cilj istraživanja je utvrditi valjanost novih modela video tehnologije i inercijske mjerne jedinice za procjenu visine skoka. U istraživanju je sudjelovalo 15 muških studenata Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Dob =  $23,93 \pm 1,75$  godina; Tjelesna visina =  $184,29 \pm 7,22$  cm; Tjelesna masa =  $79,08 \pm 9,43$  kg). Mjerenje se sastojalo od izvedbe tri različita testa za procjenu visine skoka mjerenih pomoću pet različitih mjernih instrumenata, od kojih su se dva odnosila na nove modele video tehnologije i inercijske mjerne jedinice. Koeficijentom varijacije procijenjena je dosljednost pojedinačnih mjerenja za svaki instrument u skupu podataka. Rezultati između novih modela (video tehnologija i inercijska mjerna jedinica) i referentnih instrumenata (platformi za mjerenje sile) uspoređivani su Pearsonovim koeficijentom korelacije i Bland-Altman testom. Dobiveni rezultati koeficijenta varijacije ukazuju na usporedive rezultate dosljednosti podataka među različitim instrumentima. Rezultati Pearsonovog koeficijenta korelacije ukazuju na veliku razinu povezanosti između novih modela i referentnih instrumenata, dok rezultati Bland-Altman testa daju statistički značajnu pristranost samo u određenim usporedbama. Pregledom svakog testa zasebno teško je zaključiti o valjanosti novih modela dok je komplementarnim uvidom u rezultate Pearsonovog koeficijenta korelacije i Bland-Altman testa moguće ukazati kako novi modeli mogu poslužiti kao relativno pouzdana opcija za procjenu visine skoka.

## Ključne riječi

Mjerni instrumenti, video tehnologija, inercijska mjerna jedinica, visina skoka, valjanost

# ANALYSIS OF DIFFERENCES IN VARIOUS PROTOCOLS FOR ASSESSING VERTICAL JUMP PERFORMANCE

## **Abstract**

Vertical jump tests are an essential part of sports diagnostics due to the significance of vertical jumps in various sports. The most used laboratory measurement instruments include expensive and impractical equipment in the form of force platforms. With the advancement of technology and the need for simpler to use instruments, tools like video-based technology and inertial measurement units are becoming increasingly more utilized in sports diagnostics. The aim of the study is to determine the validity of new models of video-based technology and inertial measurement unit for assessing jump height. The study included 15 male students from the Faculty of Kinesiology at the University of Zagreb (Age =  $23,93 \pm 1,75$  years; Height =  $184,29 \pm 7,22$  cm; Weight =  $79,08 \pm 9,43$  kg). The measurement consisted of performing three different jump tests measured using five different measurement instruments, two of which were related to new models of video-based technology and inertial measurement units. The coefficient of variation was used to assess the consistency of individual measurements for each instrument in the dataset. The results between the new models (video-based technology and inertial measurement unit) and reference instruments (force platforms) were compared using Pearson's correlation coefficient and the Bland-Altman test. The obtained coefficient of variation results indicates relatively similar measurement consistency among different instruments. Pearson's correlation coefficient results show a high level of correlation between the new models and reference instruments, while the results of the Bland-Altman test indicate statistically significant bias in certain comparisons. By examining each test individually, it is difficult to conclude on the validity of the new models, but through a complementary analysis of Pearson's correlation coefficient and the Bland-Altman test results, it is possible to suggest that the new models can serve as a relatively reliable option for assessing jump height.

## **Key words**

Measurement instruments, video-based technology, inertial measurement unit, jump height, validity

## Sadržaj

Uvod .....	8
Ciljevi i hipoteze .....	9
Metode istraživanja .....	10
Uzorak ispitanika .....	10
Opis protokola .....	10
Mjerni instrumenti .....	11
Varijable .....	12
Metode obrade podataka .....	13
Rezultati .....	14
Rasprava.....	18
Zaključak .....	20
Literatura.....	21



## Uvod

Vertikalni skok smatra se jednim od bitnih motoričkih znanja za uspjeh u mnogim sportovima (Rodriguez-Rosell i suradnici, 2017). Radi važnosti vertikalnog skoka, testovi za procjenu vertikalne komponente skočnosti izrazito su važni za praćenje i poboljšanje sposobnosti skoka (Umberger, 1998). Također, korištenje pouzdanih i valjanih postupaka testiranja korisno je za praćenje učinaka treninga i za potrebe selekcije talenata (Marković i suradnici, 2004). Prema Bui i suradnicima (2015), maksimalna visina skoka koju postiže pojedinac, a koja je pokazatelj snage mišića nogu, može pružiti ključne informacije o njihovoj razvijenosti i izvedbi u mnogim sportovima, uključujući nogomet (Stølen i suradnici, 2005), košarku (Ziv i Lidor, 2009), rukomet (Kruger i suradnici, 2014) i odbojku (Sheppard, 2008). Povećanjem potreba i razvojem tehnologije u sportskoj dijagnostici, pojavljuju se novi mjerni instrumenti za procjenu visine skoka kao pristupačnije i jednostavnije opcije za mjerenje vertikalne komponente skočnosti.

Kao „zlatni standard“ u mjerenju visine skoka smatraju se platforme za mjerenje sile koje su i jedna od najčešće korištenih metoda za procjenu visine skoka (Harman i suradnici, 1991; Glatthorn i suradnici, 2011; Dias i suradnici, 2011; Requena i suradnici, 2012). Platforme za mjerenje sile mjere visinu skoka iz brzine odskoka ili vremena leta (Moir, 2008). Međutim, iako se smatraju „zlatnim standardom“ za mjerenje visine skoka, platforme za mjerenje sile dolaze i sa potencijalnim nedostacima. Prema Balsalobre-Fernández i suradnicima (2015), glavni nedostaci platformi za mjerenje sile su: skupoća uređaja, slaba prenosivost i potreba za električnom utičnicom na mjestu mjerenja.

Među ostale često korištene metode mjerenja visine skoka pripadaju i Sargent's jump test (Caruso i suradnici, 2011; Menzel i suradnici, 2010), video tehnologija (Aragón, 2000; Balsalobre-Fernández i suradnici, 2015) i inercijske mjerne jedinice (Picerno i suradnic, 2011; Nielsen i suradnici, 2019). Za provedbu Sargent's jump testa nije potrebna specijalizirana oprema te je navedeni test i jedan od najraširenijih za procjenu visine skoka radi lakoće protokola mjerenja. Korištenje video tehnologije za procjenu visine skoka funkcionira po principu korištenja računalnih algoritama za analizu sadržaja videa, koji može uključivati praćenje pokreta i prepoznavanje objekata i radnji (Post i suradnici, 2018). Video tehnologija i inercijske mjerne jedinice (IMU) sve češće se primjenjuju kao praktičnije opcije za mjerenje visine skoka radi njihove prenosivosti, manje cijene i lakoće korištenja.

Cilj ovog istraživanja je analizirati valjanost korištenja novog softvera video tehnologije i IMU (proizvedeni od strane Ultrax Technologies) u usporedbi sa „zlatnim standardom“ platforme za

mjerenje sile te u usporedbi sa Sargent's jump testom kao jednim od najraširenijih testova za procjenu visine skoka.

### **Ciljevi i hipoteze**

Cilj istraživanja je utvrditi valjanost korištenja novih mjernih instrumenata (video tehnologije i inercijske mjerne jedinice proizvedeni od strane Ultrax Technologies) u usporedbi sa zlatnim standardima za procjenu visine skoka kao pokazatelja vertikalne komponente skočnosti.

Postavljene hipoteze:

H1 – postoji statistički značajna povezanost u rezultatima mjerenja visine skoka između instrumenata zlatnog standarda i video tehnologije u procjeni vertikalne komponente skočnosti

H2 – postoji statistički značajna povezanost u rezultatima mjerenja visine skoka između instrumenata zlatnog standarda i inercijske mjerne jedinice u procjeni vertikalne komponente skočnosti

## Metode istraživanja

### Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika je izabran prigodnom metodom uzorkovanja iz populacije studenata, a sastojao se od 15 muških studenata Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Dob =  $23,93 \pm 1,75$  godina; Tjelesna visina =  $184,29 \pm 7,22$  cm; Tjelesna masa =  $79,08 \pm 9,43$  kg). Svi ispitanici pripadaju aktivnoj populaciji te je kriterij za odabir bio da nemaju zdravstvenih poteškoća koje bi mogle utjecati na dobivanje i tumačenje ispitivanih podataka. Ispitanici su prethodno upoznati s protokolom i svrhom istraživanja te mogućim rizicima. Ispitanici su pristali dobrovoljno sudjelovati u istraživanju.

### Opis protokola

Testovi za procjenu vertikalne komponente skočnosti provedeni su u Sportsko dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Testiranja su provedena od strane istih mjerioca tokom dva dana (jedan mjerioc po instrumentu, uvijek isti mjerioc na istom instrumentu), gdje su ispitanici bili raspoređeni u dvije grupe kako bi se optimizirala učinkovitost postupka mjerenja. Prethodno testiranju, sva oprema je bila uključena, kalibrirana te pripremljena za mjerenje.

Prvi dio mjerenja sastojao se od prikupljanja deskriptivnih mjera (dob, tjelesna visina i tjelesna masa), gdje je ispitanicima tjelesna visina izmjerena pomoću antropometra, a tjelesna masa pomoću Kistlerove KiJump platforme. Prethodno postupku mjerenja odrađeno je nekoliko testnih skokova kako bi se umanjio učinak akutnog motoričkog učenja izvedbe skokova. Postupku mjerenja prethodilo je zagrijavanje (vođeno od strane istog mjerioca u oba dana) u trajanju od 10 minuta koje se sastojalo od vježbi općeg razgibavanja tijela (2 minute), stražnjeg mosta (spuštanje-podizanje, 10 ponavljanja), čučnja (10 ponavljanja), skokova iz čučnja s pripremom s pauzom između ponavljanja (5 ponavljanja) i skokova iz čučnja s pripremom bez pauze između ponavljanja (5 ponavljanja).

Testiranje visine skoka provodilo se sa tri testa za procjenu vertikalne komponente skočnosti: skok iz čučnja – *squat jump* (SJ), skok iz čučnja s pripremom - *countermovement jump* (CMJ)

i skok iz čučnja s pripremom sa zamahom ruku – *countermovement jump with arm swing* (CMJA).

Za procjenu visine skoka koristilo se pet instrumenata: Kistler KiJump platforma, Kistler Quattro Jump platforma, Sargent jump test (Vertec), kamera pametnog telefona koja koristi video tehnologiju za procjenu visine skoka i IMU.

Ispitanici su nasumičnim redoslijedom pristupali izvođenju skokova. Prije izvedbe skokova, mjerioc je, svakom ispitaniku zasebno, postavio IMU na stražnju stranu pojasa sportske odjeće u kojoj su ispitanici odrađivali mjerenje. Svaki ispitanik je izveo devet uzastopnih skokova (3 SJ za redom pa 3 CMJ za redom pa 3 CMJA za redom) s kratkim odmorom između skokova. Odmor između skokova je trajao koliko je bilo potrebno za kalibraciju instrumenata između ponavljanja (otprilike 10 – 20 sekundi). Mjerenje se odvijalo na Kistler KiJump platformi uz istodobno mjerenje pomoću video tehnologije i IMU kako bi se mogli usporediti rezultati pomoću Bland-Altman testa za referentni instrument (Kistler KiJump) sa dva nova instrumenta (video tehnologija i IMU). Zatim je svaki ispitanik ponovio postupak mjerenja na Kistler Quattro Jump platformi uz istodobno mjerenje pomoću video tehnologije, IMU i Sargent jump testa (za posljednja tri skoka, CMJA). Mjerenje se odvijalo istodobno, poput prethodnog, radi usporedbe Bland-Altman testom između referentnih instrumenata (Kistler Quattro Jump i Sargent) i dva nova instrumenta (video tehnologija i IMU). Svi rezultati su bili zapisani te pohranjeni za daljnju analizu.

## **Mjerni instrumenti**

U istraživanju su korišteni mjerni instrumenti:

1. Antropometar – GPM model 101

2. Platforma za mjerenje sile – Kistler KiJump, Type 9229A

Sastoji se od dvije pokretne platforme za mjerenje sile reakcije podloge koja, spojena na računalo, koristi MARS softver kojim se upravlja platformom. Pomoću softvera se upravlja platformom te se dobiva vizualni i tekstualni prikaz raznih podataka o izvedbi skoka. U istraživanju su korišteni rezultati visine skoka dobiveni iz vremena leta.

3. Platforma za mjerenje sile – Kistler Quattro Jump

Pokretna tenziometrijska platforma čiji predmet testiranja su različite vrste skokova (Čanaki i suradnici, 2006). Platforma djeluje po principu kvantifikacije izvedbe vezane uz aktivnost donjih ekstremiteta čime omogućava objektivno mjerenje sile i vremena te izračunavanje snage, visine skoka i dr. (Bosco, 1997).

#### 4. Sargent jump test – Vertec

Mjerni instrument sa konstrukcijom čeličnog okvira s vodoravnim letvicama koje se zakreću rukom kako bi se označila dosegnuta visina. Svaka letvica označava promjenu visine od 1 cm. Postupak mjerenja odvijao se tako da je ispitanik stao pored mjernog instrumenta te maksimalno uzručio dominantnom rukom pritom prislonivši dlan na konstrukciju instrumenta te je u najvišoj točki zabilježena visina. Visina skoka je mjerena samo za CMJA pri kojem je ispitanik pokušao dotaknuti letvice u najvišoj točki skoka, Potom je izmjerena razlika između točke najviše razine skoka i točke visine uzručenja te je dobiven rezultat visine skoka.

#### 5. Pametni telefon s kamerom koja snima video u 60 sličica u sekundi

Pametni telefon je postavljen na stativ tako da se kamera nalazi na udaljenosti od 3,5 metara od ispitanika i 1 metar visine od tla. Kamera je postavljena tako da su ispitanikova stopala malo iznad donjeg ruba ekrana pritom pazeći da su u potpunosti vidljiva tijekom cijelog skoka. Za potrebe mjerenja koristio se novi softver proizveden od strane Ultrax Technologies.

#### 6. Inercijska mjerna jedinica (IMU) – Ultrax Technologies

IMU je primjer mikroelektromehaničkog senzorskog sustava (MEMS) koji uobičajeno uključuje akcelerometar, žiroskop i magnetomet (Staunton, 2021). IMU može pružiti precizne kinematičke i vremenske podatke, a kada se kombinira s algoritmom za spajanje senzora, može se koristiti i za praćenje trodimenzionalnih pokreta (Marković i suradnici, 2020). Za potrebe mjerenja koristio se novi model proizveden od strane Ultrax Technologies.

## **Varijable**

Varijable mjerene u istraživanju su prikazane u Tablici 1. zajedno sa njihovim kraticama i mjernim jedinicama.

*Tablica 1. Varijable korištene u istraživanju*

<b>Kratica varijable</b>	<b>Naziv varijable</b>	<b>Mjerna jedinica</b>
Dob	Dob	Godine
TV	Tjelesna visina	cm
TM	Tjelesna masa	kg
TVU	Tjelesna visina s uzručenjem	cm
SJ	Visina skoka iz skoka iz čučnja	cm
CMJ	Visina skoka iz skoka iz čučnja s pripremom	cm
CMJA	Visina skoka iz čučnja s pripremom sa zamahom ruku	cm

### **Metode obrade podataka**

Za obradu podataka korišteni su programi Statistica 14.0 i Microsoft Office – Excel, verzija 2307. Prvotno su izračunati deskriptivni pokazatelji ispitanika. Zatim su izračunate aritmetičke sredine rezultata tri ponavljanja za svaki od tri testa (SJ, CMJ, CMJA) za svaki mjerni instrument. Računata je aritmetička sredina kako bi se smanjio utjecaj ekstremnih vrijednosti ili pogrešaka u mjerenju. Normalnost distribucije varijabli provjerena je Shapiro-Wilk testom normaliteta distribucije. Koeficijentom varijacije je procijenjena varijabilnost i dosljednost među skupovima podataka. Dobiveni rezultati mjerenja uspoređeni su Pearsonovim koeficijentom korelacije koji, prema Cohen i suradnici (2009), daje indicaciju o snazi linearnog odnosa između dviju slučajnih varijabli. Također, rezultati su uspoređeni Bland-Altman testom koji je često korišten test za procjenu suglasnosti između dvije metode mjerenja ili za usporedbu nove metode s referentnom (Bland i Altman, 1986).

## Rezultati

U Tablici 2. prikazane su vrijednosti normalnosti distribucije rezultata za svaku vrstu skoka mjerenih pomoću svakog instrumenta. Također, prikazani su i rezultati koeficijenta varijacije kojim je procijenjena dosljednost pojedinačnih mjerenja za svaki instrument u skupu podataka.

*Tablica 2. Normalnost distribucije i koeficijent varijacije*

Mjerni instrument	Vrsta skoka	W	p	CV
KiJump	SJ	0,89	0,09	15,72
KiJump	CMJ	0,93	0,29	17,28
KiJump	CMJA	0,95	0,46	18,75
Quattro Jump	SJ	0,95	0,52	14,01
Quattro Jump	CMJ	0,95	0,47	13,34
Quattro Jump	CMJA	0,95	0,50	15,81
Sargent	CMJA	0,96	0,76	23,21
Video/KiJump	SJ	0,98	0,92	14,18
Video/KiJump	CMJ	0,97	0,87	14,25
Video/KiJump	CMJA	0,97	0,81	19,07
Video/Quattro Jump	SJ	0,97	0,92	11,27
Video/Quattro Jump	CMJ	0,94	0,44	13,32
Video/Quattro Jump	CMJA	0,96	0,73	17,91
Video/Sargent	CMJA	0,96	0,73	17,91
IMU/KiJump	SJ	0,89	0,07	25,63
IMU/KiJump	CMJ	0,92	0,23	18,59
IMU/KiJump	CMJA	0,96	0,66	21,40
IMU/Quattro Jump	SJ	0,91	0,13	23,50
IMU/Quattro Jump	CMJ	0,97	0,80	24,18
IMU/Quattro Jump	CMJA	0,96	0,67	25,61
IMU/Sargent	CMJA	0,96	0,67	25,61

W – Shapiro-Wilk test, p – p-vrijednost, CV – koeficijent varijacije

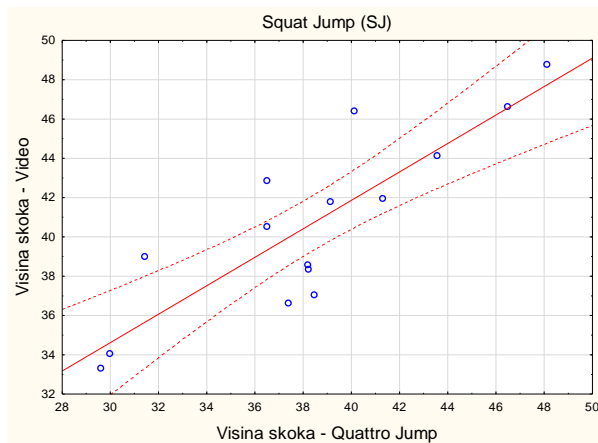
U Tablici 3. prikazane su vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije za visinu skokova mjerenih koristeći video tehnologiju i IMU u usporedbi s referentnim metodama. Prema Cohen i suradnici (2009) jakosti učinka Pearsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ) interpretirale su se prema preporučenim vrijednostima od 0,10; 0,30; 0,50 za razgraničenje malih, srednjih i velikih učinaka. U Tablici 3., crvenom bojom su označeni rezultati koji pripadaju statistički značajnim

vrijednostima koeficijenta korelacije. Na Slikama 1., 2. i 3. prikazani su primjeri grafova za parove koji su imali najveći stupanj korelacije za svaku vrstu skoka.

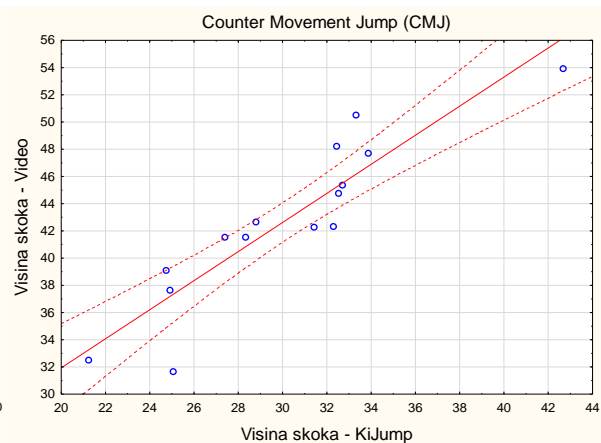
Tablica 3. Pearsonov koeficijent korelacije

Mjerni instrument	Vrsta skoka	r	p
Video + KiJump	SJ	0,45	0,0915
Video + KiJump	CMJ	<b>0,91</b>	<0,0001
Video + KiJump	CMJA	<b>0,87</b>	<0,0001
Video + Quattro Jump	SJ	<b>0,85</b>	<0,0001
Video + Quattro Jump	CMJ	<b>0,86</b>	<0,0001
Video + Quattro Jump	CMJA	<b>0,70</b>	0,0036
Video + Sargent	CMJA	<b>0,84</b>	<0,0001
IMU + KiJump	SJ	<b>0,70</b>	0,0034
IMU + KiJump	CMJ	<b>0,76</b>	0,0011
IMU + KiJump	CMJA	<b>0,56</b>	0,0317
IMU + Quattro Jump	SJ	<b>0,70</b>	0,0037
IMU + Quattro Jump	CMJ	<b>0,56</b>	0,0308
IMU + Quattro Jump	CMJA	<b>0,67</b>	0,0067
IMU + Sargent	CMJA	<b>0,64</b>	0,0101

r – Pearsonov koeficijent korelacije, p – p-vrijednost

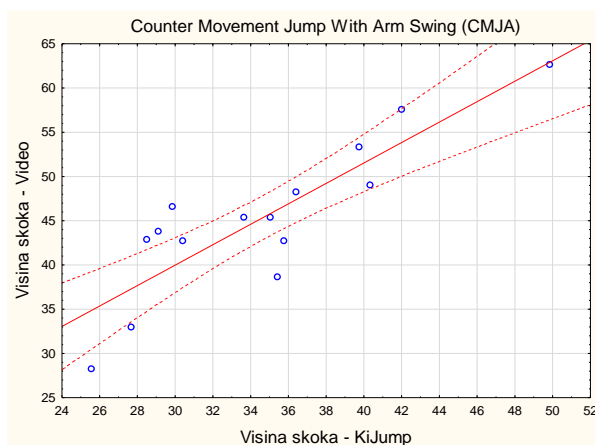


Slika 1. Korelacija između video tehnologije i Quattro Jumpa u izvedbi SJ



Slika 2. Korelacija između video tehnologije i KiJumpa u izvedbi CMJ





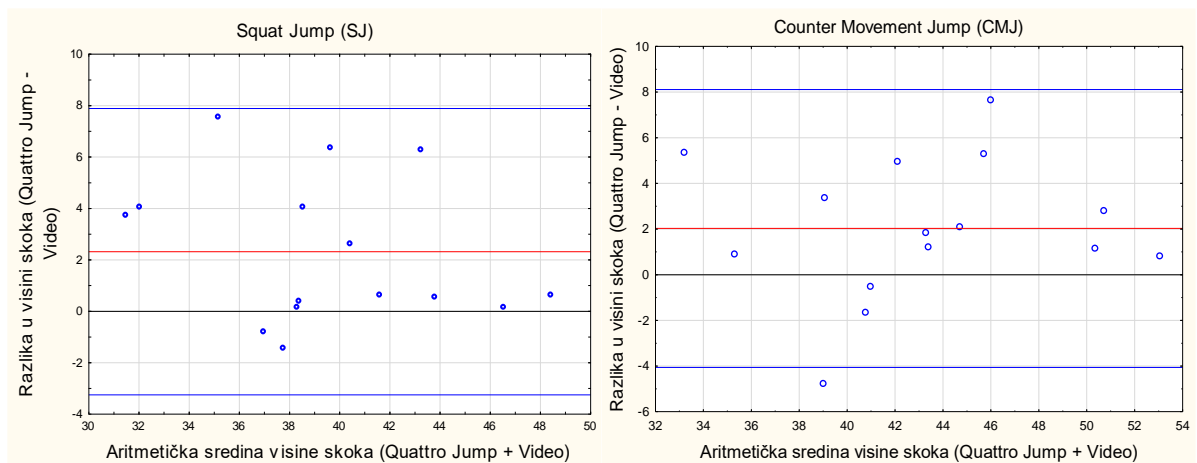
Slika 3. Korelacija između video tehnologije i KiJumpa u izvedbi CMJA

U Tablici 4. prikazani su rezultati dobiveni Bland-Altman testom te su crvenom bojom označeni statistički značajni rezultati pristranosti. Prema (Giavarina, 2015) moguće je zaključiti da je pristranost statistički značajna ako je linija jednakosti unutar intervala pouzdanosti srednje razlike. Interval pouzdanosti (CI) određen je u rasponu od  $-1,96$  standardne devijacije (SD) do  $+1,96$  standardne devijacije (SD). Na Slikama 4., 5. i 6. prikazani su primjeri grafova Bland-Altman testa za Quattro Jump i video tehnologiju, u kojima su sve 3 vrste skoka pokazale statistički značajnu pristranost.

Tablica 4. Rezultati Bland-Altman testa

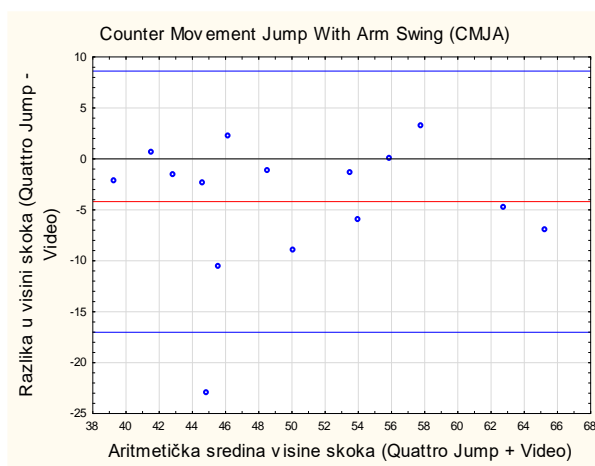
Mjerni instrument	Vrsta skoka	Pristranost	CI (upper)	CI (lower)
Video + KiJump	SJ	14,77	25,15	4,40
Video + KiJump	CMJ	12,62	17,56	7,68
Video + KiJump	CMJA	10,70	19,37	2,04
Video + Quattro Jump	SJ	2,32	7,89	-3,25
Video + Quattro Jump	CMJ	2,03	8,12	-4,06
Video + Quattro Jump	CMJA	- 4,19	8,63	-17,02
Video + Sargent	CMJA	16,40	25,58	7,22
IMU + KiJump	SJ	-0,92	7,89	-9,73
IMU + KiJump	CMJ	-1,30	5,95	-8,55
IMU + KiJump	CMJA	3,24	17,03	-10,54
IMU + Quattro Jump	SJ	-12,90	-4,20	-21,60
IMU + Quattro Jump	CMJ	-10,03	2,86	-22,92
IMU + Quattro Jump	CMJA	-15,25	-0,86	-29,64
IMU + Sargent	CMJA	5,34	19,84	-9,16

CI – interval pouzdanosti, upper – gornja granica CI, lower – donja granica CI



Slika 4. Suglasnost između video tehnologije i Quattro Jumpa u izvedbi SJ

Slika 5. Suglasnost između video tehnologije i Quattro Jumpa u izvedbi CMJ



Slika 6. Suglasnost između video tehnologije i Quattro Jumpa u izvedbi CMJA

## Rasprava

Izračunom koeficijenta varijacije (CV), procijenjena je varijabilnost i dosljednost među skupovima podataka. CV je korišten za procjenu dosljednosti mjerenja visine skoka različitih vrsta skokova za svaku metodu mjerenja. Dobiveni rezultati ukazuju kako je dosljednost među podacima podjednaka na KiJump platformi (15-19%), Quattro Jump platformi (13-16%) i koristeći video tehnologiju (11-19%), dok je dosljednost podataka mjerena pomoću IMU (18-26%) i Sargenta (23%) nešto manja. Vrijednosti koeficijenta korelacije ukazuju kako je dosljednost podataka mjerena različitim mjernim instrumentima približna, iako treba uzeti u obzir kako je istraživanje provedeno na relativno malom uzorku ispitanika te je time CV podložniji iznimnim vrijednostima tako da rezultati ne moraju nužno odgovarati stvarnim vrijednostima. Kako bi se dobili relevantniji rezultati, potrebno je provesti dodatna istraživanja s većim brojem ispitanika kako bi se smanjila podložnost ekstremnih vrijednosti rezultata.

Dobiveni rezultati Pearsonovog koeficijenta korelacije nam ukazuju kako postoji statistički značajna povezanost u rezultatima mjerenja pomoću video tehnologije i referentnih metoda u 6 od 7 mjerenja. Mjerenje u kojem nije dokazana statistički značajna korelacija je mjereno u izvedbi SJ mjereno KiJump platformom i video tehnologijom. Mogući razlog je specifičnost izvedbe SJ u kojem ne dolazi do ciklusa istezanja i skraćivanja mišića te je ispitanicima potrebno više vremena za izvedbu dosljednih skokova. Jačina povezanosti statistički značajnih rezultata korelacije mjerenih pomoću video tehnologije i referentnih metoda nam, prema vrijednostima razgraničavanja jakosti učinaka prezentiranih u radu Cohen i suradnici (2009), ukazuje na veliku razinu linearne povezanosti u svim rezultatima.

Vrijednosti korelacije u mjerenjima koristeći IMU i referentne metode pokazuju statistički značajnu korelaciju u svih 7 mjerenja. Također, rezultati ukazuju na veliku razinu korelacije u svim mjerenjima.

Iako postoji velika razina korelacije, slaganje rezultata razlikuje se u rasponu od 0,92 do 16,4 cm (vidljivo u Tablici 4.) te samim time Pearsonov koeficijent korelacije ne treba uzimati kao jedini pokazatelj valjanosti instrumenata.

Radi bolje interpretacije, rezultati su uspoređeni i Bland-Altman testom koji služi kao test za procjenu suglasnosti između dvije metode mjerenja. Rezultati dobiveni Bland-Altman testom ukazuju na statistički značajnu suglasnost u mjerenjima svih vrsta skokova koristeći video tehnologiju u usporedbi s Quattro Jumpom te IMU u usporedbi s KiJumpom i Sargentom. Suglasnost u ostalim usporedbama varira u vrijednostima te ne ukazuje na potpunu sukladnost u svim mjerenjima. Pristranost rezultata video tehnologije u usporedbi s KiJumpom ukazuje na

precjenjivanje rezultata visine skoka mjerenih video tehnologijom dok rezultati pristranosti IMU u usporedbi s Quattro Jumpom ukazuju na podcjenjivanje rezultata visine skoka mjerenih sa IMU. Važno je napomenuti kako su KiJump, video tehnologija te IMU mjerili visinu skoka prema algoritmu baziranom na vremenu provedenom u zraku dok je Quattro Jump mjerio visinu skoka prema algoritmu baziranom na promijeni sile tokom vremena. Također, potrebno je napomenuti kako su se i rezultati dobiveni KiJumpom i Quattro Jumpom statistički značajno razlikovali u Bland-Altman testu pri čemu je mogući razlog korištenje različitih algoritama za procjenu visine skoka. Prema tome, dosljednost u precjenjivanju rezultata (video tehnologija) ili podcjenjivanju rezultata (IMU) ne odbacuje i mogućnost primjene novih mjernih instrumenata video tehnologije i IMU u sportskoj dijagnostici već je potrebno provesti dodatna istraživanja valjanosti referentnih instrumenata (KiJump, Quattro Jump) korištenih u istraživanju.

Komplementarnim uvidom u rezultate dobivene Pearsonovim koeficijentom korelacije i Bland-Altman testom možemo utvrditi kako novi modeli video tehnologije i IMU (proizvedeni od strane Ultrax Technologies) mogu poslužiti kao relativno točna alternativa drugim uređajima za procjenu visine skoka. Iako je statistička povezanost velika, klinička značajnost u vrhunskom sportu je upitna pošto u vrhunskom sportu i najmanje razlike u rezultatima mjerenja mogu predstavljati veliki značaj. Dokazana preciznost, valjanost i pouzdanost postojećih mobilnih aplikacija za procjenu visine skoka poput „My Jump“ mobilne aplikacije (Balsalobre-Fernández i suradnici, 2015; Gallardo-Fuentes i suradnici, 2016; Stanton i suradnici, 2017) ukazuju na potrebe dodatnih istraživanja kako bi se dodatno utvrdila preciznost i pouzdanost novih mjernih instrumenata video tehnologije i IMU proizvedenih od strane Ultrax Technologies.

Također, važno je napomenuti, kako je uzorak ispitanika sačinjavao tjelesno aktivnu populaciju muških studenata te je poželjno provesti dodatna istraživanja na vrhunskim sportašima te ženskoj populaciji.

## **Zaključak**

Cilj ovog istraživanja bio je usporediti nove modele prijenosnih instrumenata video tehnologije i inercijske mjerne jedinice u usporedbi sa zlatnim standardima za procjenu visine skoka. Dobiveni rezultati ukazuju na usporedive rezultate mjerenja što ukazuje kako visina skoka može biti lako i pouzdano procijenjena pomoću novih modela. Navedeni modeli mogu biti vrijedan alat u sportskoj dijagnostici trenerima i sportašima radi njihove jednostavnosti primjene i značajno manje cijene u usporedbi s laboratorijskim instrumentima.

Treba uzeti u obzir kako klinička upotreba ostaje upitna u vrhunskom sportu gdje i najmanje vrijednosti mogu predstavljati veliku razliku te su potrebna dodatna istraživanja, dok klinička upotreba u rekreacijskim i amaterskim okruženjima može biti zadovoljavajuća.

## Literatura

- Aragón, L. F. (2000). Evaluation of four vertical jump tests: Methodology, reliability, validity, and accuracy. *Measurement in physical education and exercise science*, 4(4), 215-228.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., i Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of sports sciences*, 33(15), 1574-1579.
- Bland, J. M., i Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307-310.
- Bosco, C. (1997). Evaluation and planning condition training for alpine skiers. *U E. Muller, H. Schwameder, E. Kornxl, and C. Raschner (Ur.). Science and skiing (229–250)*. London, UK: E&FN Spoon.
- Bui, H. T., Farinas, M. I., Fortin, A. M., Comtois, A. S., i Leone, M. (2015). Comparison and analysis of three different methods to evaluate vertical jump height. *Clinical physiology and functional imaging*, 35(3), 203-209.
- Čanaki, M., Šoš, K., i Vučetić, V. (2006). Dijagnostika eksplozivne snage tipa vertikalne skočnosti na platformi za mjerenje sile Quattro jump. *Kondicijski trening*, 4(1), 19-25.
- Caruso, J. F., Daily, J. S., Olson, N. M., McLagan, J. R., Shepherd, C. M., Drummond, J. L., ... i West, J. O. (2011). Vertical jump data reproducibility from an instrumented platform. *Isokinetic Exercise Science*, 19, 97-105.
- Cohen, I., Huang, Y., Chen, J., Benesty, J., Benesty, J., Chen, J., ... i Cohen, I. (2009). Pearson correlation coefficient. *Noise reduction in speech processing*, 1-4.
- Dias, J. A., Dal Pupo, J., Reis, D. C., Borges, L., Santos, S. G., Moro, A. R., i Borges Jr, N. G. (2011). Validity of two methods for estimation of vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(7), 2034-2039.
- Gallardo-Fuentes, F., Gallardo-Fuentes, J., Ramírez-Campillo, R., Balsalobre-Fernández, C., Martínez, C., Caniuqueo, A., ... & Izquierdo, M. (2016). Intersession and intrasession reliability and validity of the My Jump app for measuring different jump actions in trained male and female athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 30(7), 2049-2056.
- Giavarina, D. (2015). Understanding bland altman analysis. *Biochemia medica*, 25(2), 141-151.
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., i Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 556-560.

- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M., i Kraemer, W. J. (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5(3), 116-120.
- Krüger, K., Pilat, C., Ückert, K., Frech, T., i Mooren, F. C. (2014). Physical performance profile of handball players is related to playing position and playing class. *The journal of strength & conditioning research*, 28(1), 117-125.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., i Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 551-555.
- Marković, S., Dopsaj, M., Tomažič, S., i Umek, A. (2020). Potential of IMU-based systems in measuring single rapid movement variables in females with different training backgrounds and specialization. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020.
- Menzel, H. J., Chagas, M. H., Szmuchrowski, L. A., Araujo, S. R., Campos, C. E., i Giannetti, M. R. (2010). Usefulness of the jump-and-reach test in assessment of vertical jump performance. *Perceptual and Motor Skills*, 110(1), 150-158.
- Moir, G. L. (2008). Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 12(4), 207-218.
- Nielsen, E. T., Jørgensen, P. B., Mechlenburg, I., i Sørensen, H. (2019). Validation of an inertial measurement unit to determine countermovement jump height. *Asia-Pacific journal of sports medicine, arthroscopy, rehabilitation and technology*, 16, 8-13.
- Picerno, P., Camomilla, V., i Capranica, L. (2011). Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *Journal of sports sciences*, 29(2), 139-146.
- Post, A., Koncan, D., Kendall, M., Cournoyer, J., Michio Clark, J., Kosziwka, G., ... i Blaine Hoshizaki, T. (2018). Analysis of speed accuracy using video analysis software. *Sports Engineering*, 21, 235-241.
- Requena, B., García, I., Requena, F., de Villarreal, E. S. S., i Pääsuke, M. (2012). Reliability and validity of a wireless microelectromechanicals based system (Keimove™) for measuring vertical jumping performance. *Journal of sports science & medicine*, 11(1), 115.
- Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. sport-specific vertical jump tests: reliability, validity, and relationship with the legs strength and sprint performance in

- adult and teen soccer and basketball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(1), 196-206.
- Sheppard, J. M., Cronin, J. B., Gabbett, T. J., McGuigan, M. R., Etxebarria, N., i Newton, R. U. (2008). Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 758-765.
- Stanton, R., Wintour, S. A., i Kean, C. O. (2017). Validity and intra-rater reliability of MyJump app on iPhone 6s in jump performance. *Journal of science and medicine in sport*, 20(5), 518-523.
- Staunton, C. A., Stanger, J. J., Wundersitz, D. W., Gordon, B. A., Custovic, E., i Kingsley, M. I. (2021). Criterion validity of a MARG sensor to assess countermovement jump performance in elite basketballers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(3), 797-803.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., i Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501–536.
- Umberger, B. R. (1998). Mechanics of the vertical jump and two-joint muscles: implications for training. *Strength & Conditioning Journal*, 20(5), 70-74.
- Ziv, G., i Lidor, R. (2009). Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports medicine*, 39, 547-568.