

3D kinematika tehnike teka za izboljšanje zmogljivosti in zmanjšanje tveganja za poškodbe

Vodja: prof. dr. Matej Supej

Sodelujoči: izr. prof. dr. Janez Vodičar, doc. dr. Nina Verdel, izr. prof. Samo Rauter, Gašper Turnšek

Raziskovalni projekt je bil uspešno izveden in je v celoti sledil zastavljenim ciljem, brez odstopanj od začetnega načrta. V raziskavo je bilo vključenih 53 športnikov iz osmih različnih športnih disciplin (šprint na 100 in 200 m, triatlon, biatlon, tek na smučeh, gimnastika, smučanje, turno smučanje in tek na dolge proge). Meritve so bile izvedene v specializiranem laboratorijskem okolju – Laboratorij za Biomehaniko na Fakulteti za šport, univerza v Ljubljani, opremljenem z najsodobnejšo tehnologijo, vključno s kinematičnim sistemom Qualisys, sestavljenim iz 12 visokofrekvenčnih infrardečih kamer Oqus 7+, ki omogočajo tridimenzionalno merjenje in analizo gibanja z natančnostjo reda velikosti 1-2 mm in tekaško preprogo Torx Marathon.



Slika: Biomehanski laboratorij pripravljen za izvajanje 3D kinematičnih meritev teka.

Za potrebe testiranja, smo športnika opremili z naborom 35 markerjev za šport »sports marker setom«



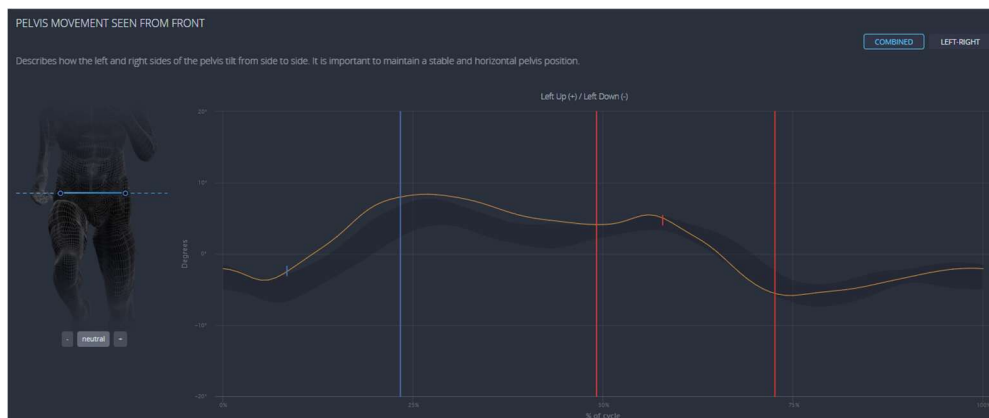
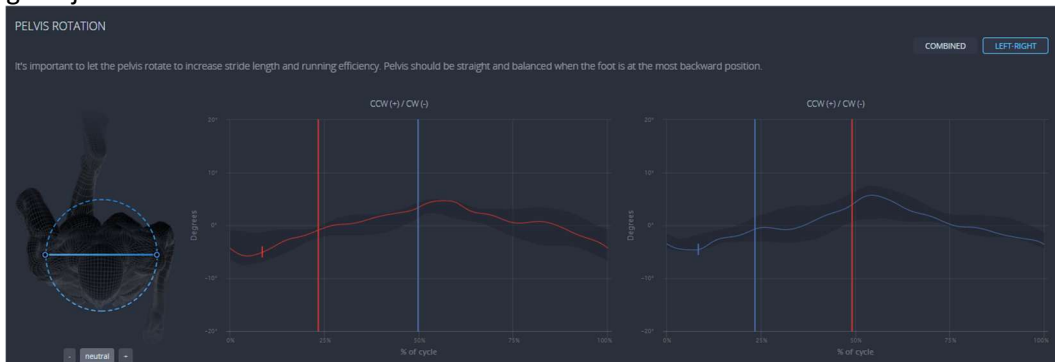
Slika: Postavitev markerjev na telo športnika.



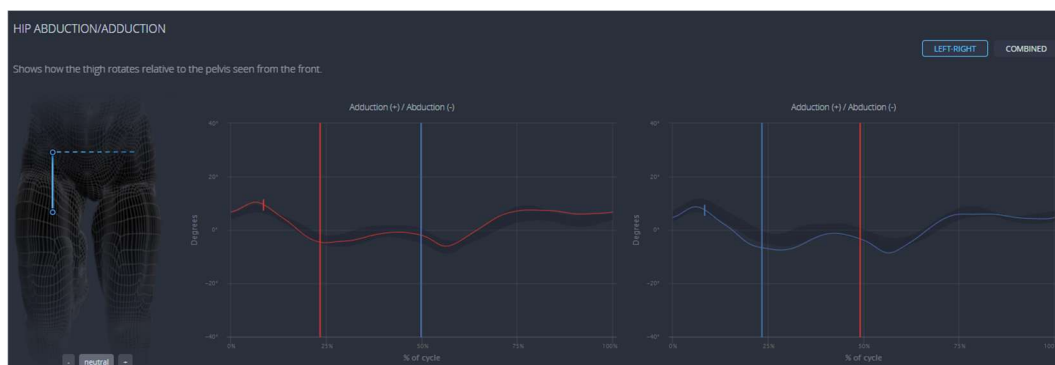
Slika: Športnik med meritvijo.

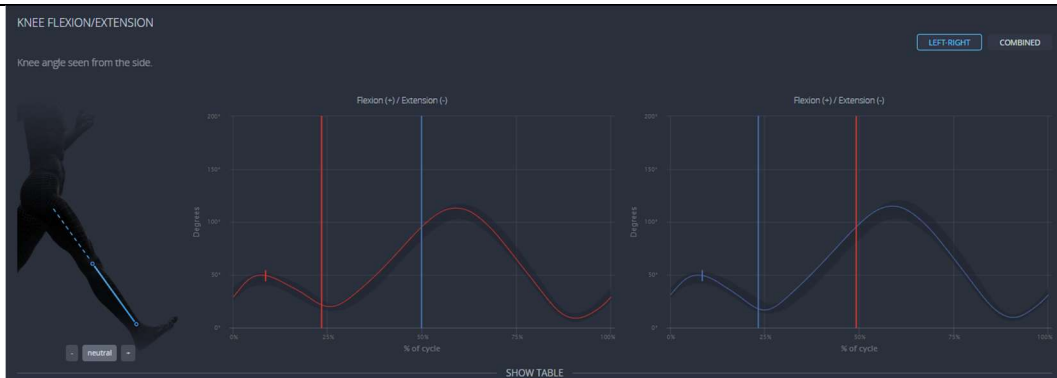
S testiranji smo zajeli ključne biomehanske parametre teka, kot so hitrost teka, dolžina in frekvenca koraka, tehnika teka, simetrija gibanja ter kinematika skleпов. Športnike smo testirali pri različnih hitrostih in naklonih, pred in po utrujenosti, kar je omogočilo celovito analizo vpliva teh spremenljivk na tehniko teka:

- gibanje medenice

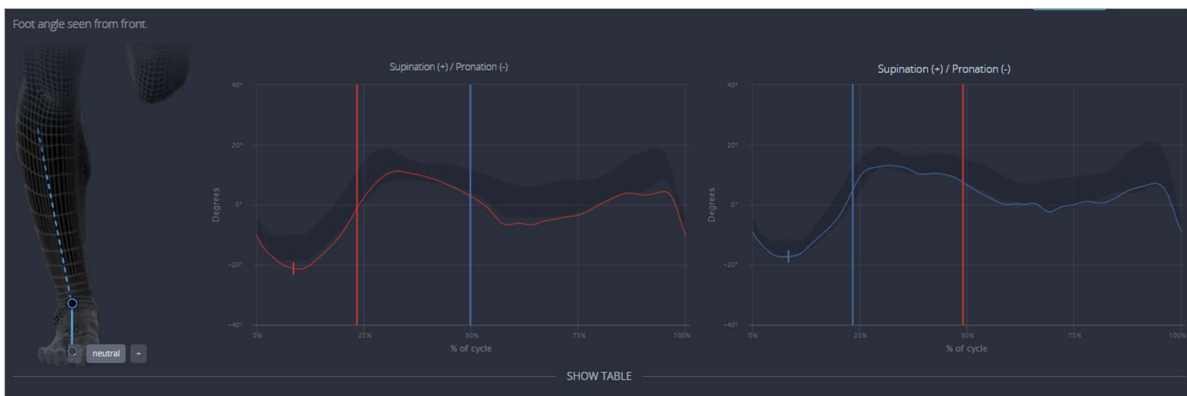
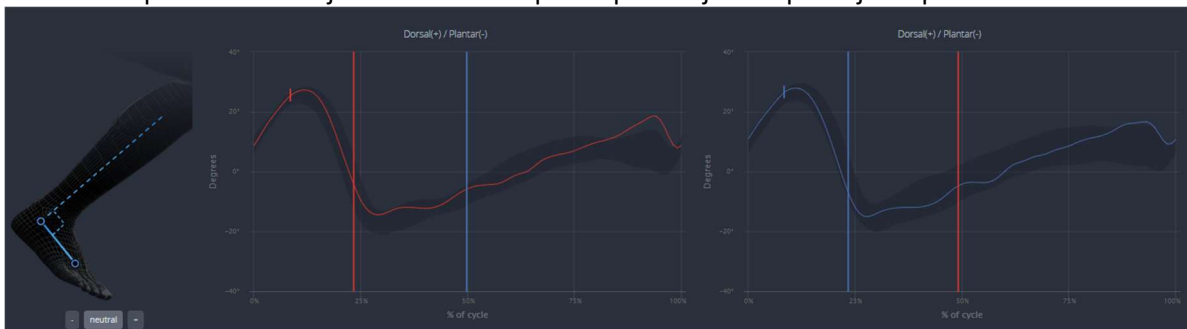


- fleksija in ekstenzija, abdukcija in addukcija ter rotacija v kolčnem sklepu in kolenskem sklepu

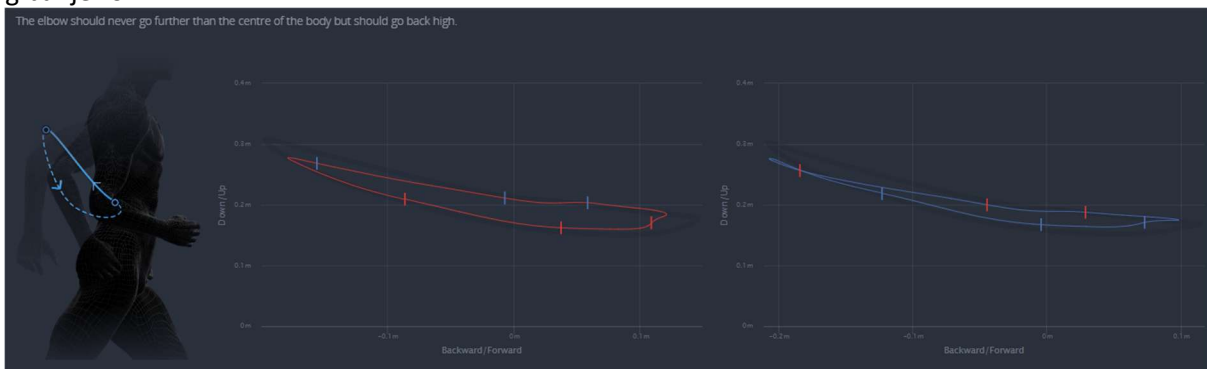


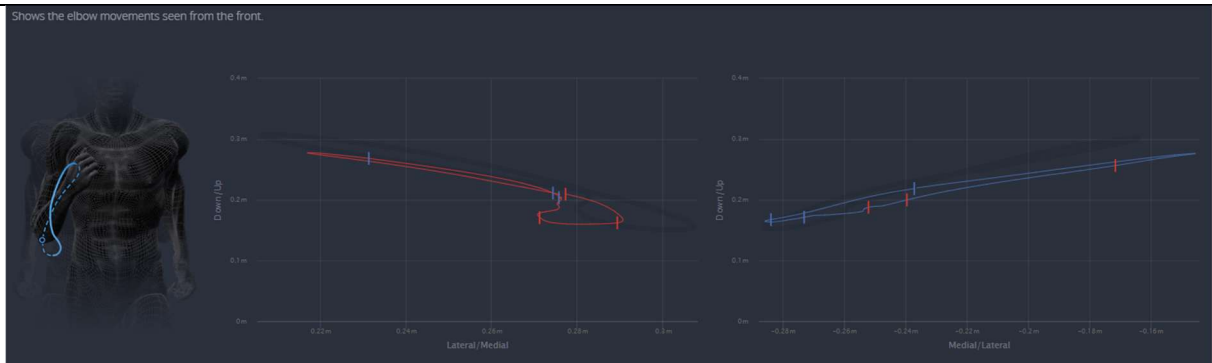


- dorzalna in plantarna fleksija v skočnem sklepu ter pronacija in supinacija stopala



- gibanje rok

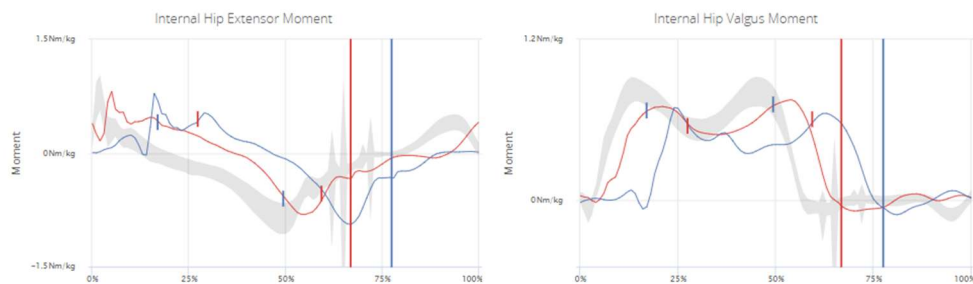




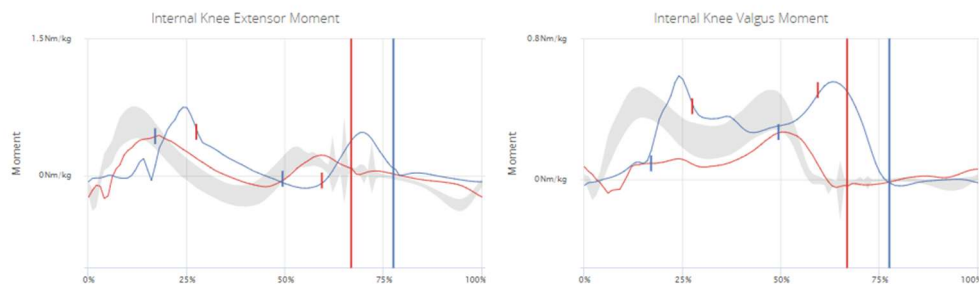
in tveganje za poškodbe. Zbrane podatke smo analizirali s programsko opremo Qualisys Track Manager in Visual3D s posebnim vtičnikom za 3D kinematično analizo tehnike teka, kar je omogočilo natančno obdelavo rezultatov ter pripravo interaktivnih (glej zgornje slike) in pdf poročil za vsakega posameznega športnika. Anonimno spletno proročilo je dostopno tudi na [povezavi](#).

Pri 2 športnikih (ena športnica iz gimnastike, ena športnica iz biatlona) smo ugotovili visoke stopnje asimetrij in smo jih zato povabili na dodatna testiranja. V ta namen smo najprej naredili 3D kinematično in dinamično analizo hoje s sistemom kamer Qualisys in AMTI pritiskovno ploščo. Poleg kinematičnih parametrov tehnike, ki so podobni tistim pri analizi 3D kinematične teka, smo tukaj lahko obravnavali še navore (obremenitve) v posameznih sklepih:

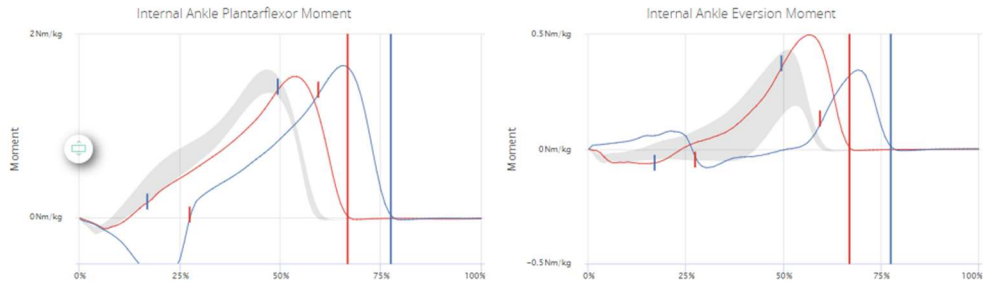
- Kolčni sklep



- Kolenski sklep



- Skočni sklep



Na zgornjih slikah vidimo ogromno asimetrijo med levo (rdeča črta) in desno nogo (modra črta).

Za odkrivanje razlogov asimetrij, pa smo pri teh dveh športnikih izvedli še izokinetiko v kolenskem sklepu:

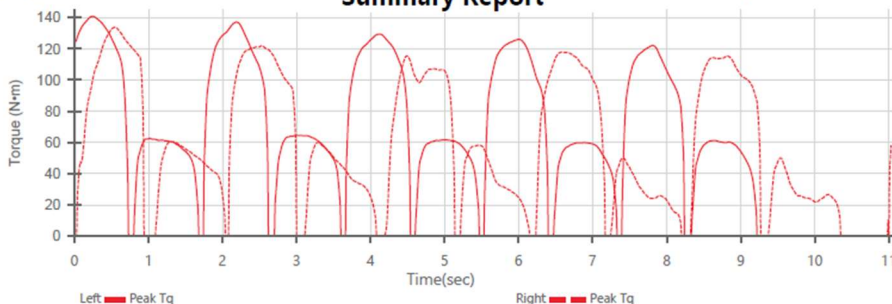
Faculty of Sport Ljubljana
Gortanova 22

Patient Name:	[REDACTED]	Date:	2024/10/08	Joint:	Knee
Patient ID:	[REDACTED]	Time:	04:10 PM	Pattern:	EXT/FLEX
Age:	[REDACTED]	Involved:	None	Type/Mode:	BI/ISOK
Weight (kg):	[REDACTED]	GET:	Left: 14 N·m at 31° Right: 13 N·m at 30°	Contraction:	CON/CON
Height (cm):	[REDACTED]			Sets:	2
Gender:	Female			Surgery/Injury Date:	

Set 1 of 2

Summary Report

Options: Windowed, Filtered



	Extension (60 deg/s)			Flexion (60 deg/s)		
	Right	Left	Deficit (%)	Right	Left	Deficit (%)
Number of Reps	5	5		5	5	
Peak Torque (N·m)	133.8 (Rep 1)	140.7 (Rep 1)	-5.2	60.5 (Rep 1)	64.5 (Rep 2)	-6.7
Angle of Peak Torque (deg)	57.0	65.0		42.0	50.0	
Peak Torque/BW (%)	273.1	287.2		123.4	131.7	
Max. Rep Total Work (J)	105.1 (Rep 1)	107.5 (Rep 2)	-2.3	46.4 (Rep 1)	53.0 (Rep 2)	-14.1
CV (%)	6.4	5.9		9.5	2.8	
Avg. Power (W)	95.9	108.3	-12.9	31.1	51.6	-65.9
Total Work (J)	498.6	497.0	0.3	181.3	245.0	-35.1
ROM (deg)	59.2	56.1				
AGON/ANTAG Ratio (%)	45.2	45.9				

Poleg znanstvenih ciljev je imel projekt tudi aplikativno vrednost. Vsak športnik je prejel podrobno poročilo o svoji tehniki teka v obliki PDF in v interaktivni obliki, ki vključuje ključne kazalce, kot so asimetrije gibanja in priporočila za izboljšanje tehnike teka. Poročila so bila izdelana tako, da omogočajo športnikom in njihovim trenerjem vpogled v tehnične vidike njihovega teka in posledično, kadar je potrebno, tudi ukrepanje za zmanjšanje tveganja za poškodbe ter izboljšanje zmogljivosti. Projekt je s tem pomembno prispeval k neposredni koristi za udeležene športnike in njihov trenajni proces.

Izkazalo se je, da lahko tridimenzionalna kinematična analiza teka učinkovito služi kot presejalni test za odkrivanje telesnih asimetrij. Ta ugotovitev je izjemno pomembna tako za uveljavljene športnike, ki že morda izkazujejo določene zdravstvene težave, kot tudi za mlajše športnike, pri katerih se zdravstvene težave lahko

Izvedbo programa je omogočilo sofinanciranje [Fundacije za šport](#).



še razvijajo. Z zgodnjim prepoznavanjem asimetrij je mogoče pravočasno ukrepati in s primernimi ukrepi preprečiti nastanek ali poslabšanje zdravstvenih težav. Na primeru dveh športnic smo ugotovili, da je pogosto pri trenerjih primarni cilj le rezultat, pozablja pa se na varno vadbo z zmanjševanjem tveganja za poškodbe, ki pa na dolgi rok zagotavlja uspeh športnikov, še posebej v Sloveniji z majhno populacijo.

Projekt je v celoti dosegel vse zastavljene cilje, tako znanstvene kot aplikativne. Ocena realizacije ciljev je torej izjemno visoka:

- **Znanstveni cilji:** Izvedli smo poglobljeno analizo vpliva hitrosti teka in utrujenosti na ključne biomehanske parametre teka. Preučevali smo tudi razlike med športniki iz disciplin, kjer je tek primarna disciplina (šprint, triatlon, tek na dolge proge), in tistimi, kjer je tek podporna vadba za splošno telesno pripravljenost (biatlon, tek na smučeh, gimnastika, smučanje, turno smučanje). Rezultati teh primerjav so zagotovili dragocene vpoglede v biomehaniko teka, ki jih je mogoče uporabiti za nadaljnje raziskave in razvoj standardov tehnike teka.
- **Aplikativni cilji:** Športniki so prejeli personalizirane povratne informacije v obliki poročil, ki vključujejo analizo njihove tehnike teka ter priporočila za izboljšanje zmogljivosti in zmanjšanje tveganja za poškodbe. Poročila so bila dostavljena v obliki pdf in predstavljena na interaktiven način, kar omogoča športnikom in trenerjem podroben vpogled v podatke, prilagojen njihovim specifičnim potrebam. Te povratne informacije so bile zelo pozitivno sprejete in so že pokazale potencial za izboljšanje trenajnih procesov.

Projekt je bil izveden točno po načrtu, brez odstopanj ali sprememb kljub zmanjšanemu financiranju od zaprosenega. Vse dejavnosti, predvidene v prijavi, so bile izvedene v skladu z določenim časovnim načrtom in s predvidenimi metodami. To vključuje natančno izbiro merjencev, izvedbo testiranj z uporabo vrhunske tehnologije ter analizo podatkov. S preseganjem pridobljenih sredstev, smo z lastnim aranžmajem želeli slovenskim športnikom pomagati po najboljših močeh.

Učinkovita organizacija testiranj in uporaba napredne opreme sta omogočila natančne meritve in analize, kar je omogočilo doseganje vseh zastavljenih ciljev brez potrebe po prilagoditvah programa. Morebitne manjše logistične izzive (kot so usklajevanje terminov testiranj športnikov različnih disciplin) smo uspešno rešili znotraj obstoječih virov in lastnim aranžmajem, brez vpliva na kakovost ali obseg izvedenih dejavnosti.

Raziskovalni rezultati:

Raziskovalni projekt je bil izpeljan v celoti skladno z načrti in je dosegel vse predvidene cilje. Glavni doprinos projekta je bil dvojen:

1. **Znanstveni doprinos:** Pridobili smo dragocene podatke o biomehanskih značilnostih teka, ki omogočajo nadaljnje raziskave in razvoj standardov tehnike teka v slovenskem športu. S tem smo vzpostavili »zlati standard« analize teka v laboratorijskem okolju.



2. **Aplikativna vrednost:** Projekt je imel neposreden pozitiven vpliv na sodelujoče športnike, ki so prejeli natančne povratne informacije o svoji tehniki teka in priporočila za izboljšanje. To bo pomembno prispevalo k njihovi varnosti in uspešnosti pri treningih in tekmovanjih.
3. **Preventivno zdravstvena vrednost:** Pri nekaterih športnikih smo odkrili prekomerne asimetrije, ki lahko vodijo v kronične preobremenitve poškodbe, kar smo z dodatnimi testi in analizami (niso bile predvidene v projektu) pomagali športnikom po naših najboljših močeh. Nenazadnje pa smo ugotovili, da takšne meritve lahko v bodoče služijo kot presejalni test za odkrivanje asimetrij in posledično preventivo športnikov.

Na podlagi izvedenega dela lahko zaključimo, da je bila zasnova projekta ustrezna in učinkovita. Ugotovitve bodo prispevale k izboljšanju biomehanskih analiz in metodoloških pristopov v športni praksi ter k izboljšanju treningov športnikov na različnih ravneh. Poleg tega rezultati odpirajo številne možnosti za nadaljnje raziskave, preventivo, ki bodo še dodatno prispevale k napredku v tej disciplini, sočasno pa nudile preventivno noto za zgodnje odkrivanje asimetrij. Iz tega primera se lahko naučimo, da je nujno potreben nadaljnji razvoj meritev z uporabo umetne inteligence, kajti tako bi lahko trenerji sprotno dobivali informacije o stanju športnika.

Ljubljana, 12. 10. 2024