



**Znanstveno-raziskovalno središče Koper
Garibaldijeva 1, 6000 Koper**

**MOŽGANSKA AKTIVNOST KOT MARKER SENZOMOTORIČNE
UČINKOVITOSTI PRI PRISTANKIH ZA PREVENTIVO PRED ŠPORTNIMI
POŠKODBAMI**

Končno poročilo o rezultatih raziskave

Dr. Uroš MARUŠIČ

¹ *Znanstveno-raziskovalno središče Koper, Inštitut za kineziološke raziskave, Slovenija*

Koper, 27.12.2021

UVOD

Ena najpogostejših športnih poškodb je poškodba sprednje križne vezi (SKV) (Spindler idr. 2008). Poleg vpliva na mehansko stabilnost je poškodba SKV povezana tudi z znatnimi destrukcijami ligamentnih mehanoreceptorjev (Dhillon idr. 2012). V zdravih razmerah senzorični receptorji, ki se nahajajo v SKV, na primer Ruffinijeva in Pacinijeva telesca, dajejo bistvene propioceptivne informacije (Dhillon idr. 2012; Cabuk, Kusku Cabuk, 2016) in uravnavajo aktivnost zadnjih stegenskih mišic (Tsuda idr. 2003). Kot sinergist SKV, so najpomembnejše za funkcionalno stabilnost kolenskega sklepa (Blackburn idr. 2011). Ker je motorična kontrola odvisna od senzoričnega vnosa, je zgoraj opisana periferna diferenciacija (poškodba mehanoreceptorja), ki je posledica tudi akutnih težav zaradi poškodbe (npr. bolečina, otekline in vnetje), lahko vzrok za nevroplastične spremembe v možganih (Ward idr. 2015; Needle, Lepley in Grooms, 2016).

Za vzdrževanje živčno-mišičnega nadzora v zapletenem in dinamičnem atletskem okolju je potrebna stalna interakcija med notranjimi (npr. Motorično načrtovanje, položaj in gibanje sklepov) in zunanji dejavniki (npr. ostali igralci, žoga in nepričakovani dražljaji), ki temeljijo na hkratni integraciji in obdelavi različnih propioceptivnih, vidnih in vestibularnih informacij (Grooms idr. 2016; Swanik, 2015). V večini primerov, ki pripeljejo do poškodbe, se morajo športniki pod visokimi časovnimi omejitvami hitro prilagoditi spreminjajočemu se okolju in se ne morejo zanašati izključno na vnaprej načrtovana gibanja (Swanik, 2015). Glede na to sedanji dokazi kažejo, da hitre prilagoditve gibanja, kot so pristanek z/na eno nogo in stranski pristanek kot odziv na nepričakovani vidni dražljaj, povzročajo specifične motnje v kinematiki in kinetiki kolena, ki lahko posledično povečajo tveganje za poškodbe (Almonroeder, Garcia in Kurt, 2015).

Do danes so se študije, ki so preučevale kortikalne spremembe med gibanjem osredotočale na preproste, predvidene naloge, ki v glavnem zahtevajo nadzor povratnih informacij in ocene v sedečem ali ležečem položaju. Takšne naloge imajo nizko ekološko veljavnost, saj le omejeno posnemajo športne značilnosti gibanja. Namen te študije je bil večplasten in sicer a) ugotoviti možnost preučevanja možganske aktivnosti med gibanjem in sicer v ekstremnih pogojih kjer vnašamo enkratne artefakte zaradi pristanka (in ne ciklične kot je primer hoja in tek); b) ugotoviti možnost sinhronizacije Fitlight in EEG opreme (optične celice EEG sistema); c) preveriti morebitno ujemanje med biomehanskimi analizami doskokov in rezultati na kognitivnem testiranju zdravih preiskovancev.

METODE

Projekt »Možganska aktivnost kot marker senzomotorične učinkovitosti pri pristankih za preventivo pred športnimi poškodbami« je bil finančno podprt le v manjšem delu zaprosenih sredstev. Posledično smo študijo izvedli v pilotnem smislu in preverili izvedljivost predlaganih metod. Študija je bila izvedena z dodatnim financiranjem evropskega projekta H2020: TwinBrain – TWINning the BRAIN with machine learning for neuro-muscular efficiency, WIDESPREAD-05-2020 – Twinning, ID: 952401. V letu 2022 planiramo izvedbo celotne študije in publikacijo v SCI reviji.

Preiskovanci

V raziskavo smo vključili enajst zdravih moških preiskovancev (Tabela 1). Meritve so se izvajale v laboratoriju Inštituta za kineziološke raziskave v Kopru (Arena Bonifika). Preiskovanci so prišli k nam dvakrat. Na prvem srečanju smo pridobili demografske in antropometrične podatke, izvedli smo kognitivno testiranje ter test globinskih skokov (drop jumps). Na drugem srečanju smo preiskovancem namestili EEG elektrode in meritev za enega preiskovanca je trajala približno tri ure.

Tabela 1: Osnovne antropometrične značilnosti preiskovancev

	Starost (leta)	Telesna višina (cm)	Telesna masa (kg)	Izobrazba (leta)
Povprečje	28.5	178.7	84.1	15.0
SD	8.9	5.8	11.1	3.2

Raziskovalni načrt in izvedba meritev

Preiskovanci so bili deležni dveh obiskov v razmahu enega tedna. Po pridobitvi osnovnih demografskih in antropometričnih mer so preiskovanci izvedli baterijo kognitivnih testov. Izvedli smo:

- Trail making A in B test (Reitan & Wolfson, 1985)
- Test enostavnih in kompleksnih reakcijskih časov (Deary, Liewald & Nissan, 2011)
- CORSI span test (Corsi, 1972; Stoet, 2010, 2017)

Meritve globinskih skokov (drop jumps) smo izvedli iz višine 60cm. Meritve so bile izvedene s pomočjo tenziometrijske plošče Kistler 4jump (Kistler, Švica). Preiskovanci so po začetnem standardiziranem ogrevanju izvedli tri globinske skoke, upoštevali smo le najuspešnejšega.

Meritve kontaktnih časov je bila izvedena prav tako s pomočjo tenziometrijske plošče Kistler 4jump (Kistler, Švica). Preiskovanci so šele po zapustitvi platforme prejeli informacijo v katero smer (naključno izbrane smeri) morajo v čim krajšem času odriniti. Informacijo o smeri odriva so dobili prek Fitlight sistema (FitLight, Kanada), pri čemer so bile štiri LED Fitlight luči postavljene v prostoru pred njimi (Slika 1).



Slika 1: Izvedba meritev z uporabo sistema Fitlight (1), EEG (2) in tenziometrijske plošče (3).

Meritve EEG-ja smo izvedli z mobilnim EEG sistemom CGX (Cognionics, San Diego, ZDA). Dodatno smo informacije o prižigu in ugasnitvi LED luči zajemali s pomočjo brezžičnega trigger boxa CGX StimTrigger. Potek meritev smo spremljali z dvema visokofrekvenčnima kamerama iz frontalne in sagitalne ravnine.

Statistika

Vsi podatki so navedeni s povprečnimi vrednostmi in vrednostmi standardnega odklona. Za potrebe pilotne študije smo prikazali podatke deskriptivno. Statistične analize so bile v tem delu opravljene le prek korelacijskih analiz (Pearsonov korelacijski koeficient). Po zajetju celotnih podatkov planiramo statistično obdelavo v smislu kompleksnejše več-faktorske analize variance in uporabe Bonferronijeve korekcije p-vrednosti. Odločitve smo sprejemali pri p vrednosti $< 0,05$.

REZULTATI

Vsi preiskovanci so opravili vse meritve po predvidenem planu brez težav ali poškodb. Zaradi večkratne ponovitve globinskih skokov (min 60 izvedb) so preiskovanci poročali o zakasneni mišični bolečini stegenskih mišic in mišic golenske lože. Možnost izvedbe predlaganih meritev je torej izvedljiva in planiramo izvedbo meritev na dodatnih preiskovancih v letu 2022.

Rezultati kognitivnega testiranja

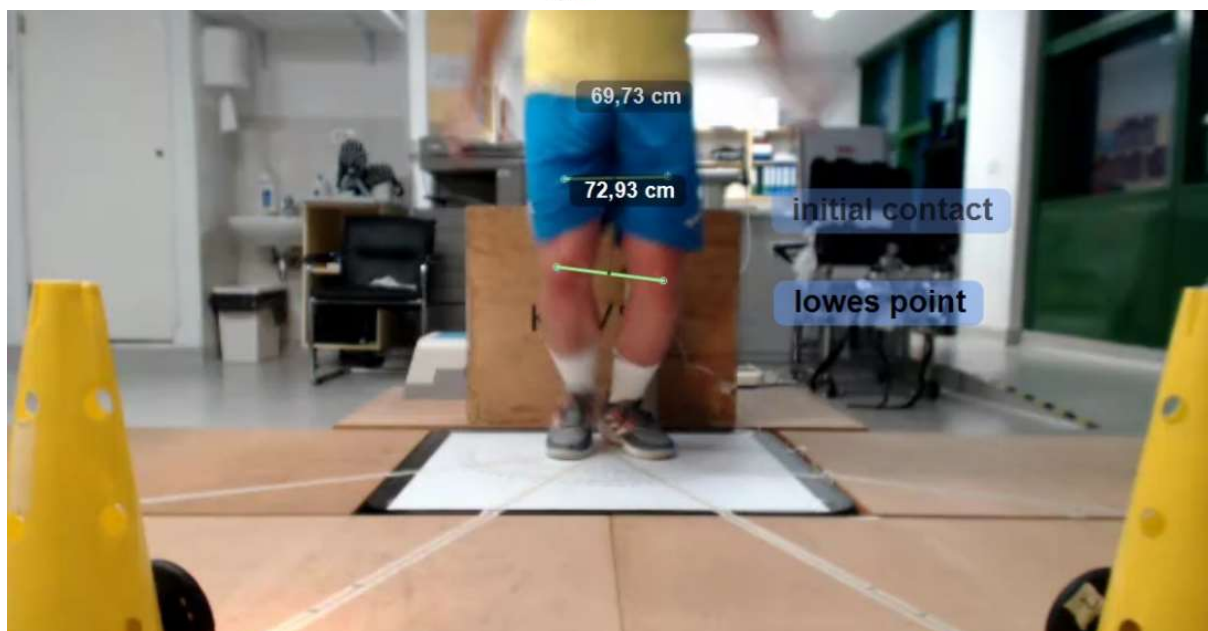
	TMT-A	TMT-B	sRT	cRT	CORSI
Povprečje	20.2	53.1	254.8	411.2	6.0
SD	4.0	17.1	21.1	48.9	1.3

Opombe: TMT-A: Trail making A test; TMT-B: Trail making B test; sRT: test enostavnih reakcijskih časov, cRT: test kompleksnih reakcijskih časov, CORSI: CORSI span tests

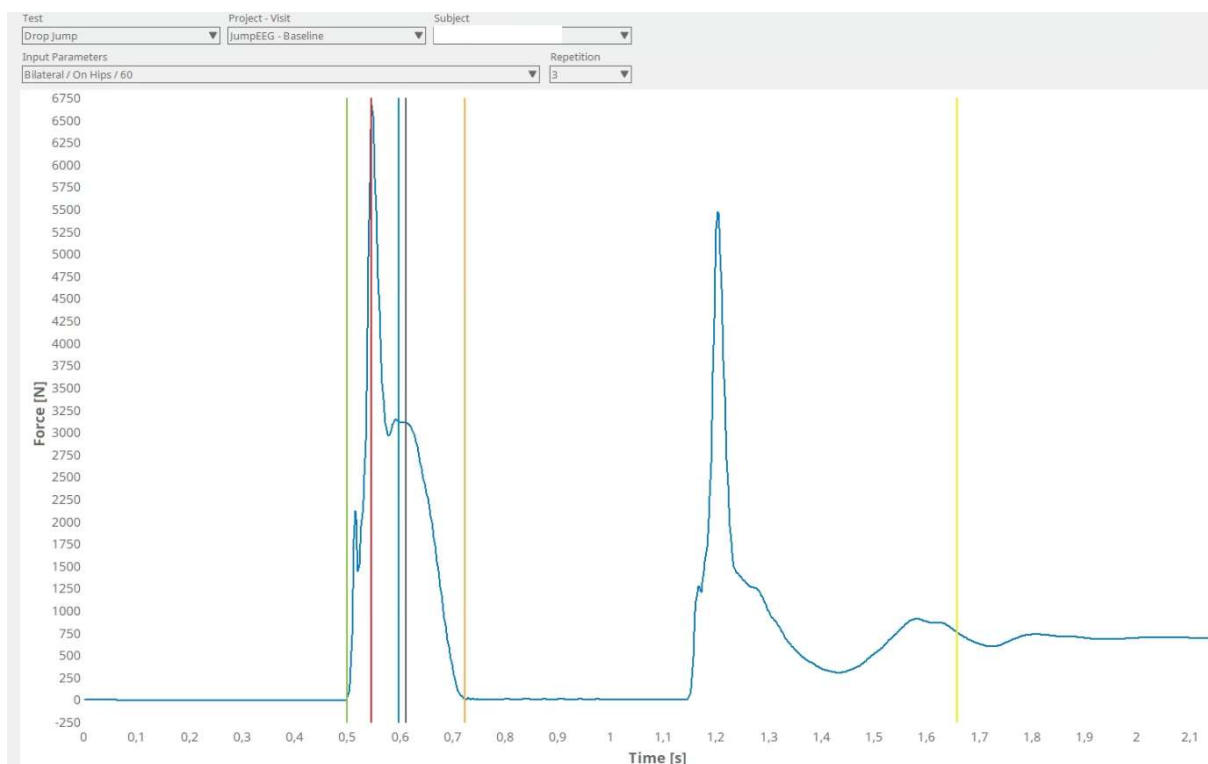
Rezultati globinskih skokov



Slika 2: Primer kinematične analize iz frontalne ravnine – začetni položaj.



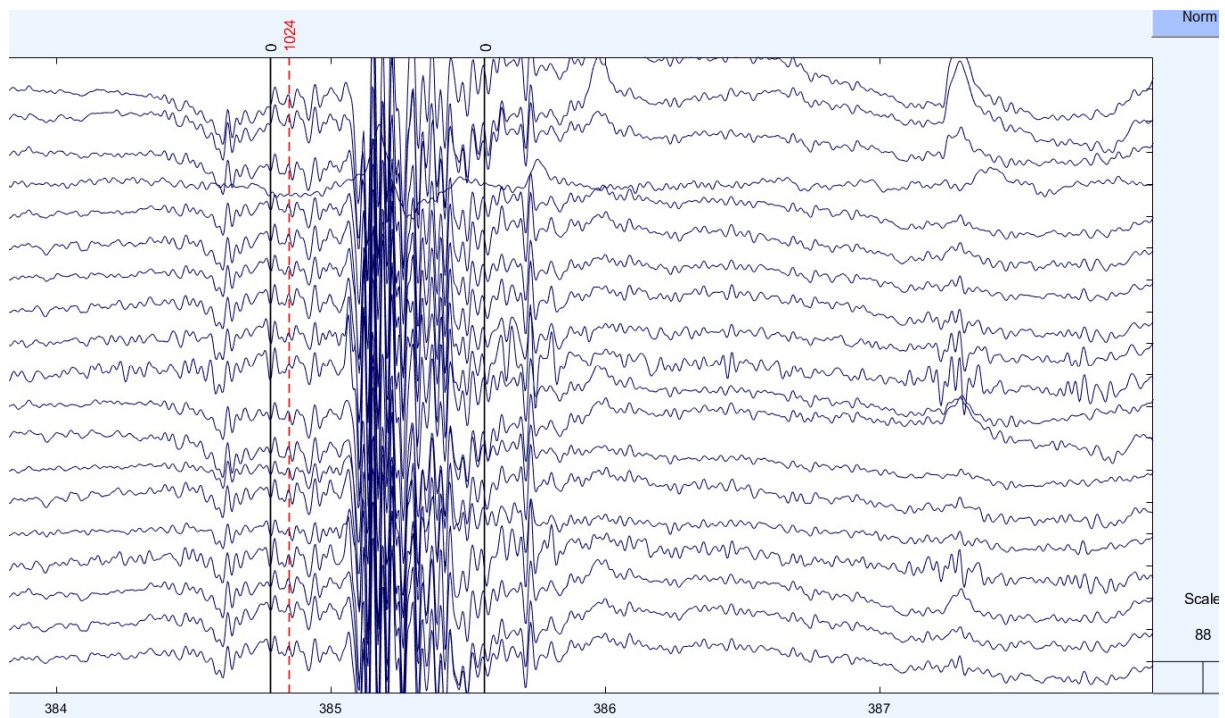
Slika 3: Primer kinematične analize iz frontalne ravnine – končni položaj.



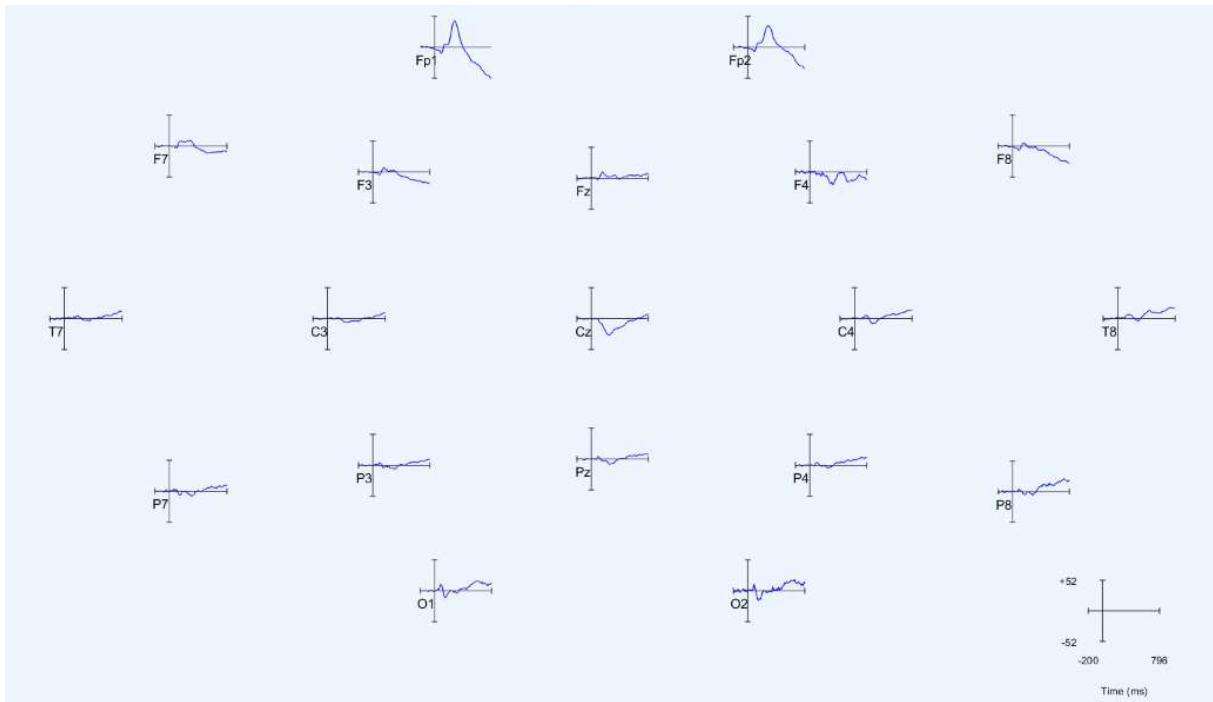
Slika 4: Primer kinetične analize globinskega skoka izvedenega na tenziometrijski plošči.

Kot preliminarne izsledke študije objavljamo rezultate globinskih skokov vseh preiskovancev pilotne študije in sicer kontaktne čase ter spodaj korelacije s kognitivnimi testiranjmi. Povprečni kontaktni čas pri globinskem skoku iz višine 60 cm je bil 254 ms, standardni odklon pa 32 ms.

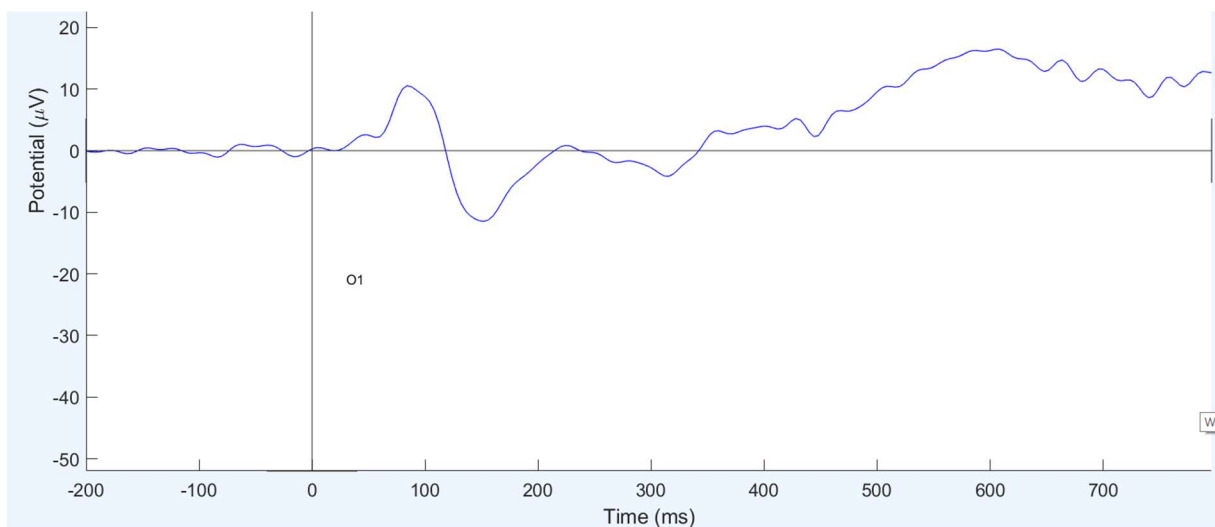
Preliminarni rezultati EEG testiranja



Slika 6: Meritev EEG odzivov med globinskim skokom – meritev izvedljivosti tovrstnih merenj



Slika 6: Preliminarni rezultati z dogodkom povezanih potencialov – »visual ERP«



Slika 7: Preliminarni rezultati z dogodkom povezanih potencialov – »visual ERP« na okcipitalni elektrodi O1.

Korelacijska analiza

Preliminarni izsledki korelacijske analize kognitivnih testov kažejo naslednje rezultate povezanosti s kontaktnimi časi globinskega skoka (višina korelacije je prikazana le pri signifikantnih rezultatih):

- TMT A ($p=0.071$)
- TMT B ($p=0.218$)
- **sRT ($r=0.876$, $p=0.037$)**
- cRT ($p=0.311$)
- Corsi span ($p=0.839$)

DISKUSIJA

V pilotski študiji z imenom »Možganska aktivnost kot marker senzomotorične učinkovitosti pri pristankih za preventivo pred športnimi poškodbami« je sodelovalo enajst zdravih moških. Vsi preiskovanci so uspešno zaključili dvodnevno testiranje in niso poročali o stranskih (negativnih) učinkih. Namen pilotne študije je bil dosežen in ugotovili smo: a) možnost merjenja možganske aktivnosti med gibanjem in sicer v ekstremnih pogojih kjer vnašamo enkratne artefakte zaradi pristanka (in ne ciklične kot je primer hoja in tek) je možna ampak s specifičnimi omejitvami (glej spodaj); b) sinhronizacija med EEG in Fitlight opremo je možna in odpira možnosti nadaljnje validacije tovrstne opreme za potrebe preučevanja hitrosti senzomotorične integracije ne le na vedenjskem nivoju temveč tudi na možganskem; c) da obstaja pomembna povezava med hitrostjo kontaktnih časov globinskega skoka ter enostavnimi reakcijskimi časi (sRT).

Na sliki 6 je razviden časovni potek EEG merjenja pri preiskovancu, ki je izvedel globinski skok z višine 60 cm. Preiskovanci so prejeli informacijo o smeri odrida šele v zraku (marker 1024, Slika 6). Po približno 200 ms je viden artefakt udarca stopala s tenziometrijsko ploščo – posledično so rezultati po stiku s tlemi neuporabni. Ne glede na to lahko analiziramo prvi del zaznavnih procesov, ki se bodo kazali kot P100 in N100 odziv (Slika 7). EEG merjenje med skoki je bilo predhodno že izvedeno in sicer v študiji Giesche idr. (2021). Poročajo o enaki težavi – meritev EEG med skokom je vsebovala preveč artefaktov, da bi bili podatki uporabni v celoti. Posledično so analizirali EEG potenciale pred začetkom gibanja in ugotovili, da imajo tisti z ACL rekonstrukcijo nekoliko povišan MRCP odziv pri neplaniranih skokih. Avtorji zaključujejo, da imajo tisti z ACL rekonstrukcijo več kortikalne aktivacije in posledično manj prostih možganskih resursov med izvedbo ne v naprej planiranih skokov (Giesche idr., 2021).

Ugotovitve pilotne študije odpirajo nove možnosti validacije različne opreme. Namreč, med planiranjem študije je bilo ugotovljeno, da ima Fitlight sistem daljše zakasnitve kot jih poroča proizvajalec sam. Posledično smo za izvedbo študije namestili dodatne foto diode prek brezžičnega EEG trigger box-a, ki je zapisoval zakasnitve med različnimi LED Fitlight lučmi. Ugotovili smo, da je sinhronizacija opreme sicer možna, a pazljivi moramo biti pri planiranju tovrstnih študij zaradi

nekonstantnih zamikov med LED Fitlight lučmi. Slika 6 namreč prikazuje primer zakasnitve med sprožilcem Fitlight in LED Fitlight lučjo (glej marker 0 in 1024). Nadaljnja analiza nam bo pokazala tovrstno zakasnitev in podala možnosti nadaljnjih izboljšav. V letu 2022 tako planiramo nadaljevanje meritev in pridobitev dodatnih informacij za izpeljavo validacijske študije Fitlight sistema. Predhodna študija sicer kaže visoko ponovljivost med različnimi merjenji (Myers, 2021), a je protokol merjenja in cilj študije različen od našega pri katerem nas zanimajo zakasnitve med različnimi LED lučmi sistema Fitlight.

Pri testiranju zadnje hipoteze smo ugotovili pomembno povezavo le med kontaktnimi časi globinskega skoka in enostavnimi reakcijskimi časi (sRT). Povezava z ostalimi (zahtevnejšimi/višjimi kognitivnimi procesi) in biomehanskim parametrom hitrosti kontaktne faze ni bila pokazana. To je v skladu s teorijo, kjer naj bi procesi, ki ne zahtevajo dodatne kognitivne rekrutacije pri mladi in zdravi populaciji ne zahtevali višjih umskih sposobnosti (Yamashita in Yamamoto, 2021). Posledično je naša želja, da v nadaljevanju preverimo tovrstni design študije na različnih populacijah kot so posamezniki z ACL rekonstrukcijo in drugimi ortopedskimi posegi. Modificirana različica tovrstnega designa (z nižjo višino globinskega skoka), bi lahko bila izvedena tudi na starejših posameznikih, ki so še gibalno/športno aktivni.

ZAKLJUČEK

Namen pilotne študije je bil dosežen. Pokazali smo izvedljivost tovrstnih meritev in samo kompleksnost designa, ki je vseboval biomehanske in nevrofiziološka merjenja. Ugotovili smo, da je možno meriti možgansko aktivnost med globinskimi skoki do točke kontakta kjer so artefakti preveliki, da bi lahko prišli do konkretne informacije o možganski dinamiki. Hkrati ugotavljamo, da so zakasnitve opreme Fitlight večje od uradnih podatkov proizvajalca Fitlight. Nenazadnje študija podaja nove ugotovitve o povezavi med hitrostjo kontaktnih časov globinskega skoka ter enostavnimi reakcijskimi časi kar odpira možnosti tovrstnega senzomotoričnega treninga. Izvedba projekta je bila zaradi nepolno odobrenega financiranja izvedena v omejenih okvirjih – nadaljevanje raziskave planiramo v 2022 kjer želimo priti do SCI objave in bomo vedenjske in možganske rezultate podrobneje predstavili.

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem preiskovancem, ki so v raziskavi sodelovali. Mag. Manci Peskar in Dr. Florianu Giesche za pomoč pri meritvah in Mateju Klevi za rekrutacijo preiskovancev. Izvedbo programa je omogočilo sofinanciranje Fundacije za šport.

LITERATURA

- Almonroeder, T. G., Garcia, E., & Kurt, M. (2015). The Effects of Anticipation on the Mechanics of the Knee During Single-Leg Cutting Tasks: A Systematic Review. *International journal of sports physical therapy*, 10(7), 918.
- Blackburn, J. T., Norcross, M. F., & Padua, D. A. (2011). Influences of hamstring stiffness and strength on anterior knee joint stability. *Clinical Biomechanics*, 26(3), 278-283.
- Cabuk, H., & Kuşku Çabuk, F. (2016). Mechanoreceptors of the ligaments and tendons around the knee. *Clinical Anatomy*, 29(6), 789-795.
- Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2011). Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance in anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian journal of orthopaedics*, 45(4), 294-300.
- Dhillon, M. S., Bali, K., & Prabhakar, S. (2012). Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance. *Muscles, ligaments and tendons journal*, 2(1), 38.
- Giesche, F., Vieluf, S., Wilke, J., Engeroff, T., Niederer, D., & Banzer, W. (2021). Cortical Motor Planning and Biomechanical Stability During Unplanned Jump-Landings in Males With ACL-Reconstruction. *Journal of Athletic Training*.
- Grooms, D. R., & Onate, J. A. (2016). Neuroscience application to noncontact anterior cruciate ligament injury prevention. *Sports Health*, 8(2), 149-152.
- Myers, L. (2021). The Test-Retest Reliability and Minimal Detectable Change of the FitLight Trainer™.
- Needle, A. R., Lepley, A. S., & Grooms, D. R. (2017). Central nervous system adaptation after ligamentous injury: a summary of theories, evidence, and clinical interpretation. *Sports Medicine*, 47(7), 1271-1288.
- Spindler, K. P., & Wright, R. W. (2008). Anterior cruciate ligament tear. *New England Journal of Medicine*, 359(20), 2135-2142.
- Swanik, C. B. (2015). Brains and sprains: the brain's role in noncontact anterior cruciate ligament injuries. *Journal of athletic training*, 50(10), 1100-1102.
- Tsuda, E., Ishibashi, Y., Okamura, Y., & Toh, S. (2003). Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 11(2), 63-67.
- Ward, S., Pearce, A. J., Pietrosimone, B., Bennell, K., Clark, R., & Bryant, A. L. (2015). Neuromuscular deficits after peripheral joint injury: a neurophysiological hypothesis. *Muscle & nerve*, 51(3), 327-332.



Yamashita, M., & Yamamoto, T. (2021). Impact of Long-Rope Jumping on Monoamine and Attention in Young Adults. *Brain Sciences*, 11(10), 1347.

Izr. prof. dr. Uroš Marušič
Vodja projekta

prof. dr. Rado Pišot
Direktor