

AKUTNI UTJECAJ PROPRIOCEPTIVNIH VJEŽBI NA DUŽINU SKOKA U DALJ S MJESTA

Pavlešić, Toni

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Health Studies / Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:653909>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Health Studies - FHSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ
FIZIOTERAPIJA

Toni Pavlešić

AKUTNI UTJECAJ PROPRIOCEPTIVNIH VJEŽBI NA DUŽINU SKOKA
U DALJ S MJESTA: rad s istraživanjem

Završni rad

Rijeka, 2023.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF HEALTH STUDIES
UNDERGRADUATE PROFESSIONAL STUDY
PHYSIOTHERAPY

Toni Pavlešić

ACUTE INFLUENCE OF PROPRIOCEPTIVE EXERCISES ON STANDING
LONG JUMP LENGTH: research

Final thesis

Rijeka, 2023

Sadržaj:

1. UVOD	7
1.1. <i>Trening propiocepcije</i>	8
1.2. <i>Proprioceptivni osjetni receptori</i>	10
1.2.1. <i>Mišićno vreteno</i>	10
1.2.2. <i>Funkcioniranje jedinice mišićnog vretena</i>	12
1.2.3. <i>Golgijev tetivni organ</i>	13
1.2.4. <i>Zglobni receptori</i>	14
1.3. <i>Utjecaj propioceptivnog treninga na motoričku sposobnost</i>	15
1.4. <i>Uloga propioceptivnog treninga u prevenciji ozljeda i rehabilitaciji</i>	16
1.5. <i>Motorička modulacija osjetnog signala</i>	18
1.5.1. <i>Promjene u osjetljivosti ljudskog mišićnog vretena tijekom pasivne propioceptivne vježbe</i>	19
1.6.2. <i>Utjecaj pasivnog propioceptivnog treninga na oštrinu procjene položaja zgloba</i> ...	22
1.6.3. <i>Dinamička osjetljivost mišićnog vretena na istezanje tijekom voljne kontrakcije</i>	24
1.6.4. <i>Je li konfiguriranje mišićnog vretena povezano s aktivacijom skeletnih mišića ?</i>	26
1.6.5. <i>Opravdanost učinka mišićnog vretena na kodiranje istezanja mišića ili rotacije zgloba</i>	27
1.7. <i>Utječe li perceptivno učenje na motoričku izvedbu</i>	28
1.8. <i>Skok u dalj</i>	30
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	30
3. ISPITANICI I METODE	31
3.6. <i>Ispitanici</i>	31
3.7. <i>Metode (postupak i instrumentarij)</i>	32
3.8. <i>Statistička obrada podataka</i>	33
3.9. <i>Etički aspekti istraživanja</i>	34
4. REZULTATI	34

5. RASPRAVA	37
6. ZAKLJUČAK	40
7. LITERATURA	41
8. PRIVITCI	48
8.1. <i>Popis tablica</i>	48
8.2. <i>Popis slika</i>	48
9. ŽIVOTOPIS	50

SAŽETAK

Proprioceptivne vježbe obuhvaćaju sposobnost održavanja ravnoteže i koordinacije pokreta prilikom korištenja nestabilnih podloga koje redovitim provođenjem osiguravaju bolju propriocepciju zglobova tj. pokreta čime postižemo zdravu posturalnu ravnotežu. Provođenje proprioceptivnih vježbi može uvelike smanjit rizik od pojave ozljede gležnja ili koljena te su vrlo često dio rehabilitacijskih programa. Proprioceptivne vježbe mogu poboljšati statičku i dinamičku ravnotežu i kao takve se često koriste u sportu za postizanje što bolje kontrole tijela.

Cilj ovog istraživanja je istražiti akutni utjecaj proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta, gledajući dužinu skoka u dalj s mjesta prije i nakon provedenih proprioceptivnih vježbi. Također, cilj istraživanja je ispitati je li učinak proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta varijabilan prema spolu te ispitivanje razlike dužine skoka u dalj s mjesta nakon proprioceptivnih vježbi kod osoba koje se bave sportom i kod osoba koje se bave sportom manje od 3 puta tjedno ili se ne bave uopće.

Istraživanje je obuhvaćalo kratko zagrijavanje u obliku 5 – minutnog trčanja nižeg intenziteta, skok u dalj s mjesta, vježbe propriocepcije te opet skok u dalj s mjesta, jedan za drugim uz kratku pauzu prije skakanja. Koristio se prigodni uzorak od 32 ispitanika. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije grupe s jednakim brojem muškaraca i žena. Jedna grupa sastojala se od 16 ispitanika koji se bave sportskom aktivnošću (8 M i 8 Ž), a u druga od 16 ispitanika koji se ne bave sportskom aktivnošću ili su sportsko aktivni manje od 3 puta tjedno (8 M i 8 Ž). Ispitanici su bili studenti fizioterapije na Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci dobi između 18 i 23 godine. Mjerenje je izvršeno pomoću mjerne vrpce (m) uz potvrdu digitalne kamere.

Rezultati istraživanja pokazuju da je akutni utjecaj proprioceptivnih vježbi statistički značajan što potvrđuje razlika u dužini skoka u dalj s mjesta prije i nakon provedenih vježbi. Također, rezultati su pokazali kako je razlika u dužini između skoka u dalj s mjesta prije i poslije proprioceptivnih vježbi statistički značajna kod oba spola s činjenicom da su muškarci nešto dalje skakali nakon proprioceptivnih vježbi u odnosu na žene. Nadalje, rezultati pokazuju poboljšanje u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta kod osoba koje se bave sportom i kod osoba koje se bave sportom manje od 3 puta tjedno ili se ne bave uopće te je dobivena razlika statistički značajna. Ujedno je utvrđeno veće poboljšanje u vidu povećanja

dužine skoka u dalj s mjesta nakon proprioceptivnih vježbi kod grupe koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedno ili se ne bavi sportskom aktivnošću. U ovom slučaju rezultati pokazuju statistički značajan utjecaj proprioceptivnih vježbi na skok u dalj s mjesta, no za potvrdu ovakvih rezultata potreban je širi i kvalitetniji pristup samoj problematici.

Ključni pojmovi: proprioceptivne vježbe; akutni utjecaj; skok u dalj s mjesta; mišićna aktivnost

ABSTRACT

Proprioceptive exercises include the ability to maintain balance and coordinate movements when using unstable surfaces, which with regular practice, ensure better proprioception of the joint, i.e. movement, thus achieving a healthy postural balance. Performing proprioceptive exercises can greatly reduce the risk of ankle or knee injury and are often part of rehabilitation programs. Proprioceptive exercises can improve static and dynamic balance and as such are often used in sports to achieve better body control.

The goal of this research is to investigate the acute impact of proprioceptive exercises on the length of jumps to a further place, looking at the length of jumps to a further place before and after the proprioceptive exercises. Also, the aim of the research is to examine whether the effect of proprioceptive exercises on the length of the standing long jump is variable according to gender, and to examine the difference in the length of the standing long jump after proprioceptive exercises in people who do sports and in people who do sports less than 3 times together or are not engaged in at all.

The research included a short warm-up in the form of a 5-minute low-intensity run, long jump from a standing position, proprioception exercises, and again a long jump from a standing position, one after the other with a short break before jumping. A convenience sample of 32 respondents was used. The respondents were divided into two groups with an equal number of men and women. One group consisted of 16 subjects engaged in sports activity (8 M and 8 F), and in the other, 16 subjects who do not engage in sports activity or are sports active less than 3 times a week (8 M and 8 F). The subjects were students of physiotherapy at the Faculty of Health Studies in Rijeka, between the ages of 18 and 23. The measurement was made using a measuring tape (m) with the confirmation of a digital camera.

The research results show that the acute impact of proprioceptive exercises is statistically significant, which is confirmed by the difference in the length of the long jump from a standing position before and after the exercises. Also, the results showed that the difference in length between the standing long jump before and after the proprioceptive exercises was statistically significant in both sexes, with the fact that men jumped slightly further after the proprioceptive exercises compared to women. Furthermore, the results show an improvement in the form of an increase in the length of the standing long jump in people who play sports and in people who play sports less than 3 times a week or not at all, and the

obtained difference is statistically significant. At the same time, a greater improvement was found in the form of an increase in the length of the standing long jump after proprioceptive exercises in the group that engages in sports less than 3 times a week or does not engage in sports. In this case, the results show a statistically significant influence of proprioceptive exercises on the standing long jump, but to confirm such results, a broader and better approach to the problem itself is needed.

Key words: proprioceptive exercises; acute impact; standing long jump; muscle activity

1. UVOD

Propriocepcija je definirana kao sposobnost integriranja osjetilnih signala putem raznih mehanoreceptora kako bi se odredio položaj i kretanje tijela u prostoru (1). Prema Sherringtonovom izvornom opisu propriocepcija se koristi za regulaciju posturalne ravnoteže i segmentalnog držanja kao i za pokretanje nekoliko svjesnih perifernih osjeta kao što je mišićni osjet (2). Propriocepcija ispravno opisuje aferentne informacije koje proizlaze iz unutarnjih perifernih područja tijela koje doprinose posturalnoj kontroli, stabilnosti zglobova i osvještavanju osjeta (2). Provedena istraživanja su pokazala kako upravo proprioceptivne vježbe mogu poboljšati dinamičku i statičku ravnotežu te mogu učinkovito spriječiti pojavu ozljeda (3). Također, šestogodišnja perspektivna studija u profesionalnom košarkaškom timu pokazala je kako redovito provođenje proprioceptivnih vježbi i preventivnih programa može uvelike poboljšati proprioceptivnu kontrolu te smanjiti rizik od pojave ozljede gležnja, koljena i boli u donjem dijelu leđa (4).

U mnogim profesionalnim sportovima potrebna je vrhunska ravnoteža i kontrola tijela kako bi sportaš mogao uspješno obavljati kompleksne motoričke zadatke koje zahtjeva vrhunski sport (5). Sposobnost održavanja ravnoteže i propriocepcije donjih ekstremiteta, posebice gležnja preduvjet je za ostvarenje dobre kontrole u sportu jer se većina sportskih aktivnosti izvodi upravo preko kontakta stopala s podlogom (5). Naime, gledajući rame, gležanj, i kralježnicu, propriocepcija gležnja prikazuje najjaču korelaciju s razinom sportskog natjecanja i najznačajniji je prediktor sportske uspješnosti (6).

S obzirom da pozitivno utječu na ravnotežu i stabilnost tijela dolazimo do pitanja utječu li vježbe propriocepcije na trenutno poboljšanje izvedbe određenih funkcionalnih radnji kao što je skok u dalj s mjesta. Skok u dalj s mjesta je funkcionalni test za ispitivanje eksplozivne snage donjih ekstremiteta i kao takav vrlo često se koristi u školskom sustavu (7).

Utjecaj proprioceptivnih vježbi na izvedbu određenih sportskih aktivnosti najčešće je istraživano kroz duži period između 6 – 12 tjedana. Šalaj i sur. u svom istraživanju navode kako je došlo do pozitivnih promjena u nekim analiziranim testovima zahvaljujući programu proprioceptivnog treninga koji se provodio u razdoblju od 10 tjedana. Rezultati su ukazali na povećanje visine vertikalnog skoka, povećanje dužine jednonožnog skoka uglavnom nedominantne noge te su primijećena blaga poboljšanja u testovima agilnosti (8).

U istraživanju Romera – Franca i sur. proveden je 25 – minutni propioceptivni trening nakon čega se provodila bipedalna stabilometrija na baropodometrijskoj platformi za bilježenje stabilometrijskih parametara. Provedeno je 6 zasebnih stabilometrija. Prva stabilometrija je provedena prije intervencije, a druga neposredno nakon zagrijavanja kod kontrolne grupe te neposredno nakon propioceptivnog treninga kod eksperimentalne grupe. Zatim su provedene još četiri stabilometrije unutar 24h. Prema rezultatima, dužina i brzina pojedinih stabilometrijskih parametra bile su značajno porasle neposredno nakon propioceptivnog treninga što može rezultirati većom mišićnom aktivnosti kako bi se kompenzirala nestabilna podloga što u konačnici rezultira boljom posturalnom kontrolom (9).

Istodobno, istraživanja su potvrdila akutni utjecaj vježbi propiocepcije u vidu akutnog povećanja mišićne aktivnosti pojedinih mišićnih skupina što predstavlja činjenicu da ovakav tip vježbi može utjecati na sportsku izvedbu (10,11). Između ostalog, jedini periferni receptor čiju osjetljivost možemo modulirati putem središnjeg živčanog sustava je mišićno vreteno s pretpostavkom da su brzine aktiviranja vretena veće u istegnutim nego u skraćenim mišićima (12). Upravo ta mogućnost mijenjanja osjetljivosti mišićnog vretena, odnosno aktivnosti osjetnih vlakna koje inerviraju vreteno uzrokuje promijene u fuziomotornoj aktivnosti čime možemo posljedično utjecati na propioceptivnu kontrolu (12). Iako je dugoročni učinak propioceptivnih vježbi istraživan u većoj mjeri, o akutnom učinku propioceptivnih vježbi na izvedbu sportske aktivnosti nema previše podataka (13,14). Pejić i sur. kao i Hammami i sur. došli su do zaključka kako postoji određeni akutni utjecaj u obliku povećanja performansi održavanja ravnoteže i izvedbe određenih sportski radnji iako učinak nije bio statistički značajan za sve testove (13,14).

1.1. Trening propiocepcije

Proprioceptivne vježbe nije lako izolirati s obzirom da je cilj propioceptivnih vježbi upravljanje nestabilnosti i osiguravanje posturalne ravnoteže (4). Problem je u tome što svaki pokret i svako držanje tijela zahtjeva održavanje stabilnosti pa onda i to možemo smatrati jednom vrstom propiocepcije (4). Vrlo često se koriste i drugi termini za opis istih vježbi kao što su: senzorno - motorički trening ili neuromuskularni stabilizacijski trening. Senzorno - motorički trening podrazumijeva održavanje homeostaze zglobova tijekom izvođenja tjelesnih

pokreta, odnosno održavanje funkcionalne stabilnosti zgloba, dok neuromuskularni stabilizacijski trening obuhvaća usklađen rad živčanog sustava, mišićnog sustava i ravnoteže. Dosljedno tome proprioceptivni trening se sastoji od ravnoteže i koordinacije koji djeluju zajedno sa senzornim osjetilima (2,15).

„Ravnoteža tijela je održavanje stalnoga položaja tijela ili njegovih dijelova. Ostvaruje se s pomoću različitih organa i receptora.“ Najvažniji organi za ravnotežu jesu: unutarnje uho (vestibularni sustav – tri polukružna kanalića), osjet vida, receptori na koži te mišićni, tetivni i zglobni receptori (18). Ravnotežu možemo podijeliti na statičku i dinamičku ravnotežu. Statička ravnoteža definira održavanje ravnoteže tijela u mjestu, dok dinamička obuhvaća zadržavanje ravnoteže tijela u pokretu. Pored ravnoteže valja spomenuti i koordinaciju koja predstavlja motoričku sposobnost tijela da smisleno i regulirano izvodi specifičnu kretnju ili obrazac kretnji od najjednostavnijih pa do najsloženijih oblika gibanja (15).

Vježbe propriocepcije imaju široku tipologiju, međutim svaka proprioceptivna vježba mora sadržavati određenu mehaničku nestabilnost, prisutnost pojačanja mehaničke nestabilnosti, određeni zadatak ili pokret koji se uspoređuju s očekivanim ishodom mjerenja (4). Iste vježbe općenito bi uključivale trening ravnoteže i korištenje nestabilnih podloga za učestalo izazivanje osjetilnih receptora i naknadnu integraciju tih percepcija u leđnoj moždini, mostu i višim kortikalnim područjima (16). Pretpostavlja se da redovito provođenje takvih vježbi pospješuje propriocepciju samog položaja zgloba, ali i pokreta. Drugim riječima, podupiremo nesvjesnu stabilizaciju zgloba kroz refleks koji opet održava zdravo držanje i ravnotežu (16).

Proprioceptivne vježbe se gotovo uvijek izvode pomoću trenažnih pomagala koje imitiraju nestabilnu podlogu pomoću koje narušavamo ravnotežni položaj tijela. Na taj način kao prije spomenuto „izazivamo“ sustave zadužene za održavanje ravnoteže, koordinacije, ali ujedno stimuliramo mišićnu aktivnost. Na primjer proprioceptivni trening može biti balansiranje na nestabilnoj dasci, gumenom jastuku, bossu lopti, loptama različitih veličina, balansnim platformama itd. (Slika 1.). Uz balansiranje trening propriocepcije može uključivati trening s utezima ili elastičnom trakom kao dodatni otpor prilikom izvođenja određenog pokreta ili zadatka na nestabilnoj podlozi/položaju koji zahtjeva održavanje ravnoteže. Također, vođenje, hvatanje ili dodavanje lopte s balansiranjem na jednoj nozi ili nestabilnoj podlozi ubrajamo u vježbe propriocepcije (15,17).



Slika 1. Prikaz pomagala korištenih u vježbama propriocepcije. Izvor: <https://www.rost-sport.hr/podloga-za-masazu-spokey-fit-seat-941144-941144.aspx?q=1-334053-1--1-0>

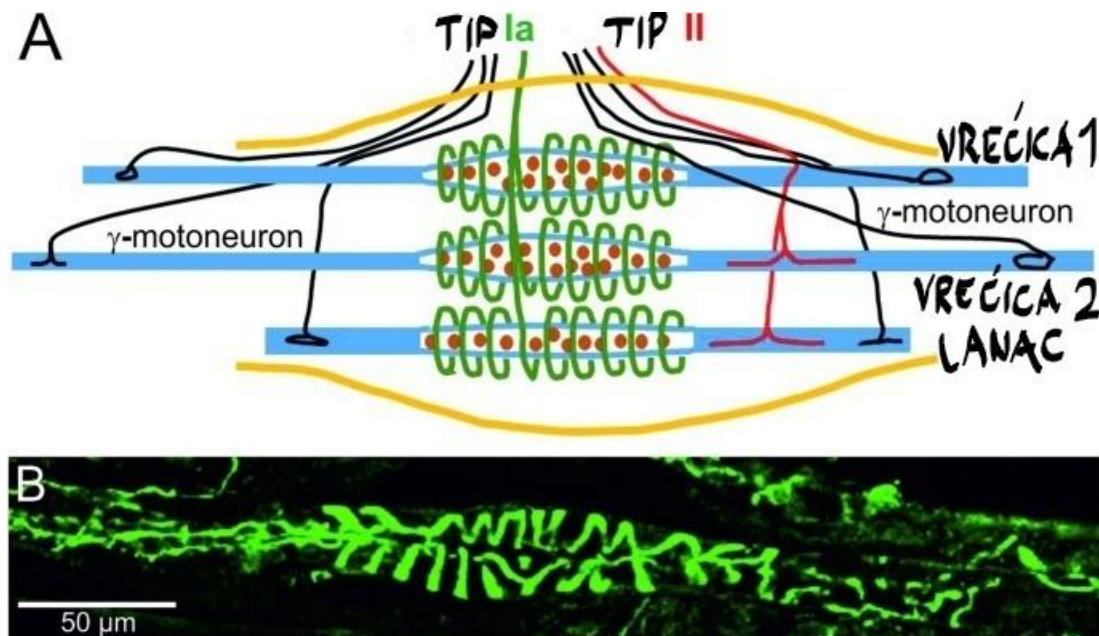
1.2. Proprioceptivni osjetni receptori

1.2.1. Mišićno vreteno

Mišićna vretena svrstavamo u najvažnije proprioceptore te zajedno uz Golgijev tetivni organ, zglobne receptore i druge senzorne sustave doprinose propriocepciji. Smještene su u skeletnim mišićima uz grubu procjenu da ih ima oko 50 000 u cijelom ljudskom tijelu. Mišićna vretena su inkapsulirani osjetni receptori koji informiraju mozak o promjenama u duljini mišića. Sastoje se od specijaliziranih mišićnih vlakana, odnosno intrafuzalnih vlakana koja su višestruko inervirana, nazvana po rasporedu svojih jezgara (nuklearna vrećica). Mišićna vretena sadrže tri vrste intrafuzalnih vlakana: nuklearna vrećica 1, nuklearna vrećica 2 i vlakna nuklearnog lanca (slika 2.). Različite dijelove intrafuzalnih vlakana inerviraju različiti neuroni. Intrafuzalna mišićna vlakna kod ljudi su duga do 8 mm i oko 400- μ m duga te su usmjerena paralelno s ektrafuzalnim (okolnim) vlaknima. S promjerom od 8 do 25 μ m intrafuzalna mišićna vlakna su mnogo tanja nego ektrafuzalna mišićna vlakna (20).

Funkcionalno, mišićna vretena su detektori istezanja, tj. oni osjećaju koliko i koliko brzo se mišić produljuje ili skraćuje. U trenutku kada je mišić istegnuto ta se promjena duljine prenosi na vretena i na njihova intrafuzalna vlakna koja se naknadno slično istežu.

Intrafuzalna vlakna inerviraju dvije vrste neurona: aferentni senzorni neuroni i eferentni motoneuroni. Kod ljudi osjetna inervacija mišićnog vretena proizlazi iz aferentnih vlakana tipa Ia (primarni aferenti) ili tipa II (sekundarni aferenti) koja se razlikuju u brzini provođenja kroz aksone. Obično postoji samo jedno Ia aferentno vlakno po vretenu i svako intrafuzalno mišićno vlakno unutar tog vretena dobiva inervaciju iz tog osjetilnog neurona, dok može postojati nekoliko vlakna tipa II koja inerviraju svako ljudsko vreteno. Osim osjetnih neurona, intrafuzalna mišićna vlakna također su inervirana eferentnim motoneuronima ili fuziomotornim neuronima. β i γ motoneuroni inerviraju intrafuzalna vlakna, ali γ -motoneuroni su znatno obilniji i mnogo bolje karakterizirani u usporedbi s β -motoneuronima (20).



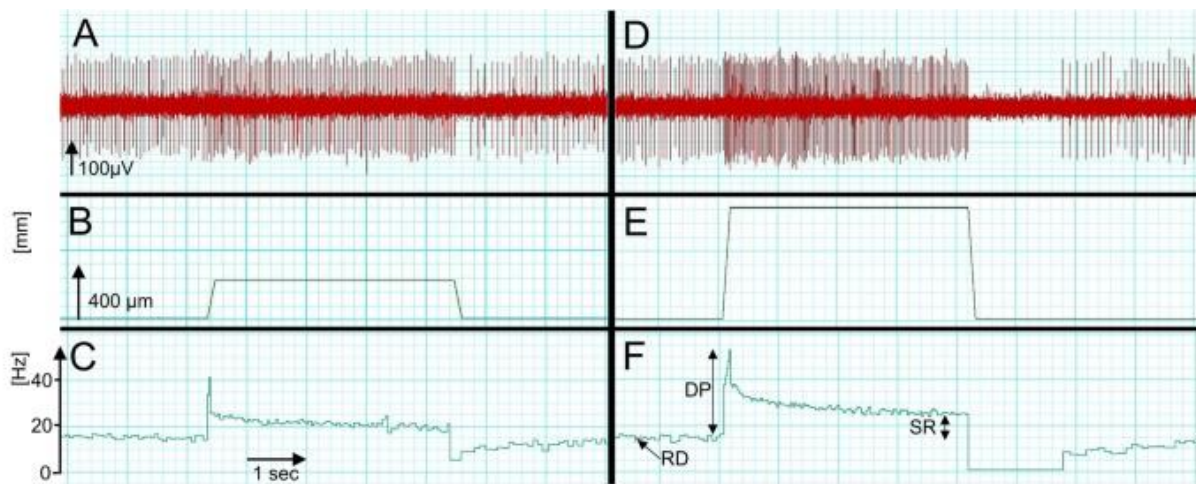
Slika 2. Gornji dio slike (A): shematski prikaz osjetne i fuziomotorne inervacije intrafuzalnih vlakana.

Centralni dio je u intimnom kontaktu s aferentnim propioceptivnim senzornim neuronima, koji se nazivaju primarnim završecima tipa Ia (zelena boja) čineći spiralne završetke oko dijelova s jezgrom sva tri tipa intrafuzalnih vlakana. Manja aferentna vlakna tipa II ili sekundarni aferenti tipa II (crvena boja) leže s jedne strane primarnih završetaka i opskrbljuju nuklearnu vrećicu 2 i vlakna nuklearnog lanca. Osim osjetnih neurona, intrafuzalna mišićna vlakna inerviraju eferentni γ -motoneuroni (crna boja).

Donji dio slike (B): prikazuje presjek središnjeg dijela mišićnog vretena miša obojen antitijelima protiv neurofilamenata. Izvor: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7788844/pdf/13395_2020_Article_258.pdf

Aferentni osjetni neuroni stvaraju akcijske potencijale s frekvencijama koje odgovaraju veličini rastezanja i brzini istežanja. Senzorni neuroni koji inerviraju nuklearnu vrećicu 1 (aferentna vlakna tipa Ia) maksimalno reagiraju na brzinu promjene duljine

mišićnog vlakna što odgovara dinamičkoj osjetljivosti. Drugi senzorni neuroni koji inerviraju nuklearnu vrećicu 2 kao i vlakna nuklearnog lanca (aferentna vlakna tipa II) maksimalno reagiraju na količinu istežanje što odgovara statičkoj osjetljivosti. Pojedinačni senzorni aferentni akcijski potencijali mogu se proučavati „*in vivo*“ pomoću intraneuralnih mikroelektroda umetnutih u dostupne periferne živce čime dobivamo informacije o osjetljivost i aktivnosti pojedinih aferenata pri određenim situacijama ili pokretima (Slika 3.) (20).



Slika 3. Prikaz odgovora mišićnog vretena na istežanje. Prikazani su akcijski potencijali pojedinačnih jedinica (A i D). Istežanje je bilo dugo 4 s, a promjena duljine odgovarala je 260 (B) i 780 (E) μm . Brzina rampe (E) bila je 3-puta veći u usporedbi s onim u (B). Dijelovi C i F predstavljaju trenutne frekvencije (akcijski potencijal/i). U prikazu F imamo tri različita parametra koji se obično analiziraju za opisivanje funkcije mišićnog vretena: frekvenciju aktivnosti u mirovanju (RD), dinamički vrh (DP) i statički odgovor (SR). Izvor:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7788844/pdf/13395_2020_Article_258.pdf

1.2.2. Funkcioniranje jedinice mišićnog vretena

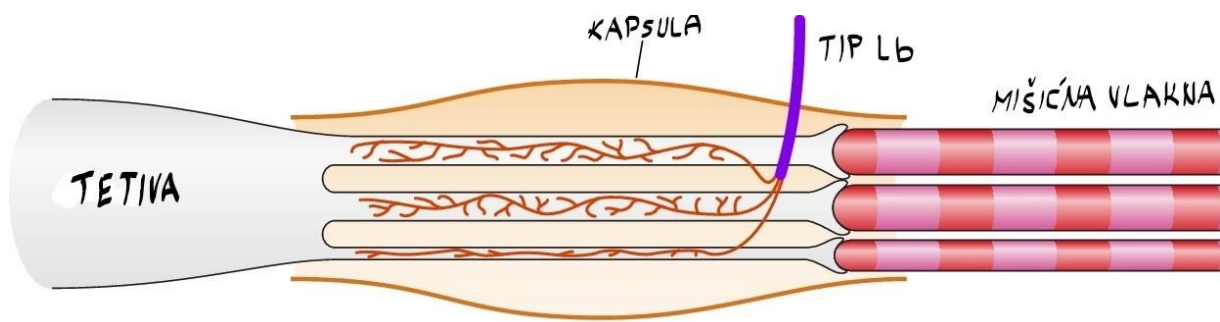
Mišićna vretena pokazuju promjene u trenutnoj frekvenciji tijekom mirovanja koje je povezano sa stupnjem rastezljivosti mišića, ali se učestalost srednje brzine aktivacije razlikuje između vrsta. Aferentna vlakna tipa II kodiraju duljinu mišića uz pomoć frekvencije aktiviranja, tj. što je mišić rastegnutiji, to je veća frekvencija i to odgovara statičkom odgovoru. Aferentna vretena, osobito primarni aferenti, mogu odgovoriti na dinamičke promjene duljine, tj. što je brže istežanje, veća je frekvencija tijekom faza rampe. Faza rampe

(Slika 3.) obuhvaća dinamičku fazu rastezanja koja se događa tijekom promijene duljine mišića. Nasuprot tome statički odgovor istežanja obuhvaća vrijeme u kojem se duljina mišića održava konstantnom (19). Sukladno tome, trenutna frekvencija (akcijski potencijal/s) je veći što je brže istežanje i veća promjena duljine mišića (Slika 3.) (20).

Kada su intrafuzalna vlakna rastegnuta pokretom ili pozicijom segmenta tijela aferentna vlakna tipa Ia pokreću akcijski potencijal što rezultira promijeni duljine mišića. Uz to brzina aktiviranja aferentnog vlakna tipa II kodira duljinu mišića (18). Gama-motoneuroni kao najobilniji inervatori intrafuzalnih vlakana čine oko 30% svih motoneurona u ventralnom dijelu roga leđne moždine. Aksoni motoneurona obično ulaze u vreteno zajedno sa osjetnim vlaknima u središnje područje ali inerviraju intrafuzalna mišićna vlakna isključivo u polarnim regijama (20). Sukladno tome, gama motoneuroni induciraju kontrakciju sarkomera u polarnom području čime se vrši napetost na središnje područje intrafuzalnih vlakana. Na taj način se sprječava popuštanje intrafuzalnih vlakana tijekom mišićnih skraćivanja i omogućuje se kontinuirano reguliranje mehaničke osjetljivosti vretena u širokom rasponu duljina mišića i brzine istežanja (20).

1.2.3. Golgijev tetivni organ

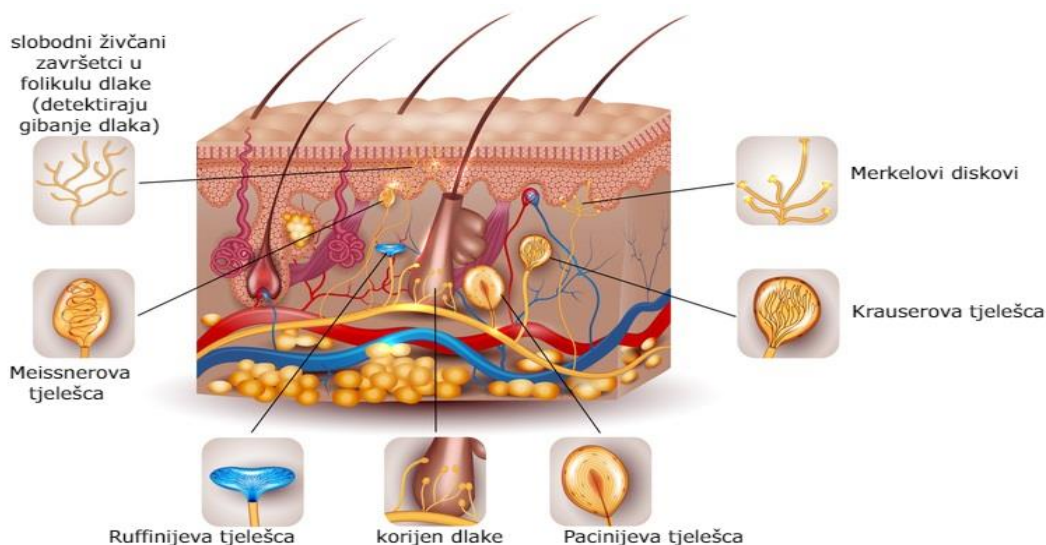
Golgijev tetivni organ je smješten na spoju između tetiva i mišića. Distalni dio tetive je inerviran osjetnim živčanim vlaknom Ib koji signalizira istežanje tetive tijekom kontrakcije mišića (21). Grupa Ib aferenata ima slične aktivacijske pragove i brzine provođenja kao skupina aferentnih vlakana tipa Ia kod mišićnog vretena (Slika 4.). Rastežu se te su vrlo osjetljivi na kontrakciju motornih jedinica (mišića) koji su u seriji s tetivnim organom koji inerviraju (22). Aferenti skupine Ib također pokazuju dinamičku osjetljivost i mogu signalizirati brze promjene kontraktilne sile. S obzirom na veliku fiziološku sličnost s aferentnim vlaknima tipa Ia vrlo je teško selektirati njihove središnje putove i fiziološku ulogu u motoričkoj kontroli (22). Kontrakcija mišića izaziva istežanje tetive koja je povezana s mišićem, čime pokreće djelovanje akcijskog potencijala Golgijevog tetivnog organa. Također, Golgijev tetivni organ očituje samu napetost tetive i time omogućuje osjećaj „zatezanja“ kod statičkih vježbi (21)



Slika 4. Prikaz Golgijevog tetivnog organa. Akson skupine Ib prodire kroz receptorsku kapsulu i grana se, a svaka grana završava na tetivnoj niti koja je pričvršćena na mišićno vlakno. Izvor: <https://journals.physiology.org/doi/epdf/10.1152/physrev.00048.2011>

1.2.4. Zglobni receptori

Važno je spomenuti da proprioceptore, odnosno osjetne organe kao što su Ruffinijevi završeci i Pacinijeva tjelešca (Slika 5.) nalazimo i u zglobovima (21). Međutim, uloga osjetnih receptora unutar zglobova ne igra važnu ulogu u provođenju fine motorike već otkriva limit određenih kretnji. Rotacijom zgloba istegnut će se zglobna čahura s jedne strane, kao i koža iznad nje, dok se tkivo s druge strane rasterećuje. Mehanoreceptori koji signaliziraju tkivni stres unutar kapsule su završeci slični Ruffiniju, usporedivi s kožnim SA2 završecima, dok Pacinijeva tjelešca odgovaraju na lokalnu kompresiju (23). Ograničeni su podaci o svojstvima zglobnih receptora kod ljudi te je jedino znanstveno dokazana snimka zglobnih aferenata koji opskrbljuju metakarpofalangealni zglob i interfalangealne zglobove prstiju (23). Prethodno nabrojani receptori kao i brojni drugi receptori povezani su s leđnom moždinom preko aferentnih živčanih vlakana. Prvo središte obrade osjetnih informacija je interneuronski bazen živčanih stanica. S obzirom na izvorni input i perifernu obradu signala, motoneuroni sinergističkih ili antagonističkih skupina mišića mogu biti facilitirani ili inhibirani ovisno o zahtjevima kretnje (21).



Slika 5. Prikaz osjetnih organa: zglobni receptori (Ruffinijeva i Pacinijeva tjelešca). Izvor: <https://hr.izzi.digital/DOS/87562/87631.html?sourceblock=8160055>

1.3. Utjecaj proprioceptivnog treninga na motoričku sposobnost

Propriocepcija je usko vezana uz pokret i kao takva zajedno djeluje na motoričke sposobnosti pojedinca. Vrlo često određene motoričke vještine kao što su skakanje, hvatanje ili bacanje zahtijevaju multisenzornu aktivaciju više osjetila i često takve radnje imaju elemente proprioceptivnog treninga čiji je cilj poboljšanje somatosenzorne funkcije (24).

U preglednom istraživanju Amana i sur. analizirao se učinak proprioceptivnih vježbi na motoričku izvedbu kroz nekoliko kategorija: kvantificirana mjera propriocepcije prije i poslije tretmana, intervencija ili program obuke za koji se vjeruje da utječe ili poboljšava proprioceptivnu funkciju, barem jedan oblik liječenja ili mjere ishoda što je pokazatelj somatosenzorne funkcije (24). Koristeći rezultate 51 studije iskazali su da proprioceptivni trening može biti učinkovit u poboljšanju proprioceptijske funkcije. Većina studija (29 od 51) prijavili su stope poboljšanja iznad 20%. Sustav treninga koji su trajali 6 tjedana ili dulje imali su relativno veće rezultate poboljšanja proprioceptivne i/ili motoričke funkcije (3,4,5,8,24). Iako je bilo i slučajeva gdje je uočeno akutno poboljšanje motoričke funkcije (14,24,25). Također, pokazalo se da su najkorisnije metode progresivne rehabilitacije one koje su uključivale somatosenzorne stimulacije (24).

Uz svoju preventivnu i rehabilitacijsku ulogu propioceptivne vježbe predstavljaju neizostavnu komponentu u trenažnom procesu sportaša. Uspostavljanje dobre propioceptivne kontrole gležnja ostvaruje dobru posturalnu kontrolu što rezultira poboljšanjem sportske izvedbe (5,6,8). Ujedno istraživanja su pokazala da uvođenje komponenata vježbi ravnoteže pozitivno utječe na izvođenje vertikalnog skoka kao i na vježbe agilnosti (26). S obzirom na promjene u funkcionalnoj izvedbi, trening ravnoteže može biti učinkovit za poboljšanje posturalne i neuromuskularne kontrole sportaša u raznim sportovima, ali i kod nesportaša (8,9,29). Iako za snagu mišića donjih ekstremiteta, izvedbu skakanja, vrijeme sprinta i agilnost, slična ili veća poboljšanja zabilježena su s treningom snage (26). Međutim, istraživanje Myera i sur. je pokazalo kako je trening ravnoteže jednako učinkovit kao i trening pliometrije te utječe na poboljšanje snage mišića koljena, visinu skoka i posturalnu kontrolu (30).

Istodobno, izvođenje vježbi na nestabilnim podlogama rezultira povećanom mišićnom aktivacijom pojedinih mišićnih skupina u odnosu na izvođenje vježbi na stabilnoj podlozi čime uspostavljamo bolju stabilizaciju zgloba (10,11). Zbog pojačane aktivnosti sinergističkih skupina mišića izvođenje vježbi na nestabilnoj podlozi smanjuje maksimalnu izlaznu silu što sugerira da stresovi preopterećenja potrebni za trening snage zahtijevaju uključivanje treninga otpora na stabilnim površinama (8,27). Iako imamo manju izlaznu silu povećana aktivacija sinergističkih i antagonističkih skupina mišića može biti vrlo dobar odabir za poboljšanje eksplozivnih radnji, odnosno u ovom slučaju skok u dalj s mjesta (14,28).

1.4. Uloga propioceptivnog treninga u prevenciji ozljeda i rehabilitaciji

Prilikom rehabilitacije ozljeda lokomotornog sustava, propioceptivni trening je široko prihvaćen kao standard za obnavljanje neuromuskularne funkcije (31). Prije svega uloga takve rehabilitacije je uspostavljanje bolje funkcije propioceptora koji se nalaze u zglobovima, tetivama, mišićima i koži koji su preduvjet za ostvarivanje pravilne funkcije ozlijeđenoga dijela tijela (31). Uz to cilj propioceptivnih vježbi je bolja funkcionalna kontrola ekstremiteta i postizanje odgovarajućeg neuromuskularnog pristupa zahvaćenog mišića (31).

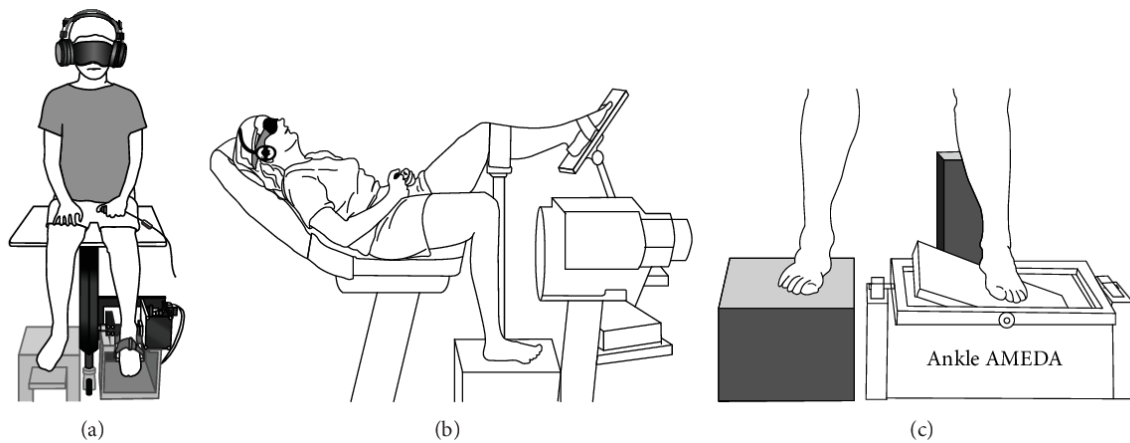
Povezanost između loše ravnotežne kontrole i povećanog rizika od ozljeda prikazali su Tropp i sur. gdje su otkrili da se ozljeda gležnja gotovo 4 puta više pojavljuje kod nogometaša s lošom ravnotežom u usporedbi sa onima s normalnom sposobnošću ravnoteže (32).

Preventivni programi proprioceptijskih vježbi široko se primjenjuju u sportu i dokazano smanjuju rizik od mogućnosti pojave ozljeda (3,4,5,17). Zbog važnosti uloge gležnja u sportovima kao što su nogomet, košarka, atletika i rukomet proprioceptivne vježbe itekako pokazuju da poboljšanje proprioceptivne kontrole može biti ključni čimbenik za učinkovito smanjenje uganuća gležnja (Slika 6.) , uganuća koljena pa čak i bolova u donjem dijelu leđa (3,4,5,33,34).

Vrlo često se vježbe proprioceptije koriste u rehabilitaciji donjih ekstremiteta, pogotovo u slučajevima kronične nestabilnosti gležnja. Hall i sur. su usporedili dva protokola rehabilitacije: protokol treninga snage i protokol treninga ravnoteže. Oba protokola su poboljšali snagu, ravnotežu i funkcionalnost donjeg nožnog zgloba (35). Iako ne možemo izdvojiti jedan protokol, kombinacija balansne platforme (*Biomechanical Ankle Platform System*) i treninga otpora sa trakom pokazuje također vrlo dobre rezultate po pitanju poboljšanja opsega pokreta kod kronične nestabilnosti gležnja (36). Nerijetko se nakon operacija prednjih križnih ligamenta koriste vježbe neuromuskularne kontrole kako bi se dobio bolji proprioceptivni osjet položaja zgloba što je itekako ključno za prevenciju sekundarne ozljede (37).

Kaya i sur. su u svojem istraživanju usporedili učinak vježbi motorike donjih ekstremiteta na propriocepciju koljena, mišićnu snagu i funkcionalnu razinu u bolesnika s rekonstrukcijom prednjeg križnog ligamenta. Rezultati su pokazali da je program neuromuskularnih kontrolnih vježbi učinkovitiji u smanjenju razlike u snazi, dok je standardni program učinkovitiji u smanjenju razlike u izdržljivosti između operiranog koljena i drugog koljena (37). Vježbe ravnoteže na jednoj nozi, iskoraci, jednonožni stavovi s ispužanjem ruku, hvatanje lopte u nestabilnim uvjetima, step – up/step down itd. predstavljaju vježbe neuromuskularne kontrole koje igraju ključnu ulogu u prevenciji i rehabilitaciji nakon ozljeda prednjeg križnog ligamenta (37,38).

Važno je napomenuti kako proprioceptivne vježbe imaju ulogu u prevenciji padova jer starenjem slabe sve tri komponente proprioceptije: osjećaj zgloba ili dijela tijela u prostoru, sposobnost osjeta pokreta u zglobu te osjet za kompleksni pokret koji povezuje prva dva osjeta (39).



Slika 6. Proprioceptivna metoda procjene gležnja. Lijevo dio slike (a) prikazuje metodu prepoznavanja pasivne kretnje gležnja. Srednji dio slike (b) prikazuje reprodukciju ili ponavljanje zadanog položaja. Desni dio slike (c) prikazuje metodu procjene aktivnog opsega pokreta gležnja. Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Role-of-Ankle-Proprioception-for-Balance-in-to-Han-Anson/1c6f58b27efb15d97c3f17a71a00a655ea0de5cf>

1.5. Motorička modulacija osjetnog signala

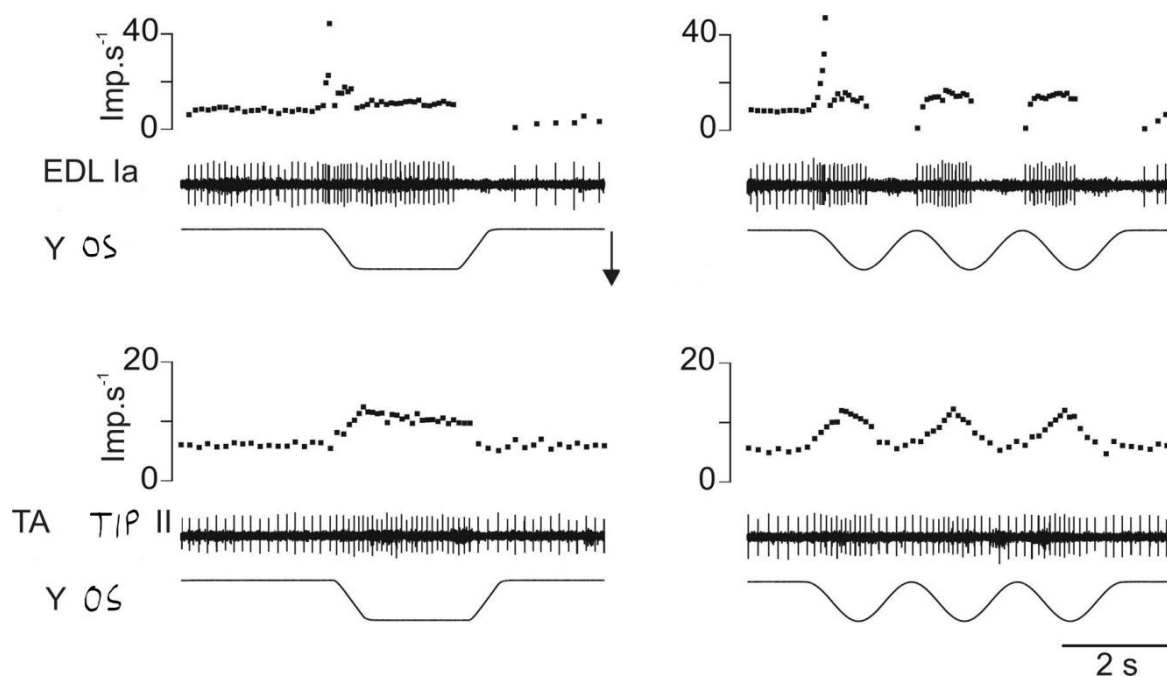
Svaki tjelesni receptor djeluje putem istog principa, odnosno gleda se brzina aktiviranja receptora s obzirom na količinu podražaja na taj isti receptor. Zatim „dobitak“ receptora, odnosno brzina aktiviranja receptora s obzirom na količinu podražaja najčešće se ne može mijenjati putem središnjeg živčanog sustava (12). Ujedno nije utvrđeno moduliranje brzine aktiviranja Golgijevog tetivnog organa, Ruffinijevih ili Pacinijevih tjelešca putem svjesnih radnji kao što je aktivni ili pasivni pokret (12). Bez obzira na mogućnost modulacije, prilagodba receptora je vrlo vjerojatna. Na taj način što je određeni podražaj na receptor duži to brzina aktiviranja receptora opada s vremenom. Razlog tomu je što se tijelo naviklo na ponavljani podražaj koji više nije novi i ne predstavlja potencijalnu opasnost za organizam (12).

Jedini periferni receptor čije „pojačanje“ može modulirati središnji živčani sustav je mišićno vreteno. Ovaj kompleksni receptor prima eferentnu (motoričku) inervaciju preko gama statičkih i gama dinamičkih fuzimotoneurona (12).

1.5.1. Promjene u osjetljivosti ljudskog mišićnog vretena tijekom pasivne proprioceptivne vježbe

Kod ljudi se izvorno smatralo kako je glavna funkcija fuziomotoronog sustava održavanje funkcije senzornog završetaka mišićnog vretena tijekom mišićnog skraćivanja, jer su promjene u osjetljivosti mišićnog vretena često u korelaciji s promjenama u mišićnoj aktivnosti (40). Naime, provedena istraživanja su pokazala kako fuzimotorni sustav također može dopustiti parametarsku kontrolu povratne sprege mišićnog vretena ovisna o zadatku. U istraživanju Ribot-Ciscar i sur. ustanovljene su selektivne promjene u osjetljivosti mišićnog vretena tijekom izvođenja mentalnih zadataka koji zahtijevaju brzo i učinkovito djelovanje pojedinca za rješavanje nepoznatog problema (41).

Hospod i sur. su testirali je li osjetljivost mišićnog vretena promjenjiva kada se informacijama s ovih receptora daje na važnosti. Provođeni su pasivni pokreti u zglobu stopala ispitanika te je mjerena aktivnost završetaka pojedinačnih mišićnih vretena koja potječu iz m. tibialis anterior (TA; n 9), m. extensor digitorum longus (EDL; n 15), m. extensor hallucis longus (n 3) i m. peroneus lateralis (PL; n 5). Mišići su snimljeni iz zajedničkog peronealnog živca mikroneurografskom tehnikom. Aferentna aktivnost mišićnog vretena mjerena je pomoću izolirane volframove mikroelektrode koja je bila smještena u području poplitealne jame. Mjereno je 32 završetka mišićnog vretena (26 la – primarni aferenti, 6 – sekundarni aferenti). Određivanje primarnih ili sekundarnih završetaka ovisilo je o njihovoj redovitoj/neredovitoj spontanoj aktivnosti. Lijeva noga bila je pričvršćena na rotirajuću pedalu kojom je upravljalo računalo. Rotirajuća pedala je izvodila pasivne pokrete gležnja, tvoreći različita slova ili brojeve. Elektromiografija (EMG) te elektrodermalna aktivnost uz pomak na x i y osi bilježena je na digitalnom magnetofonu. Odgovori jedinstvenog mišićnog vretena na pisanje pokreta su zabilježeni u dvije situacije: kada je ispitanik dobio uputu da ne obraća pozornost na pokret (tj. „kontrolna situacija“) i kada je pažnja subjekta bila usmjerena na situacija (tj. prepoznavanje situacije) (Slika 7.) (40).



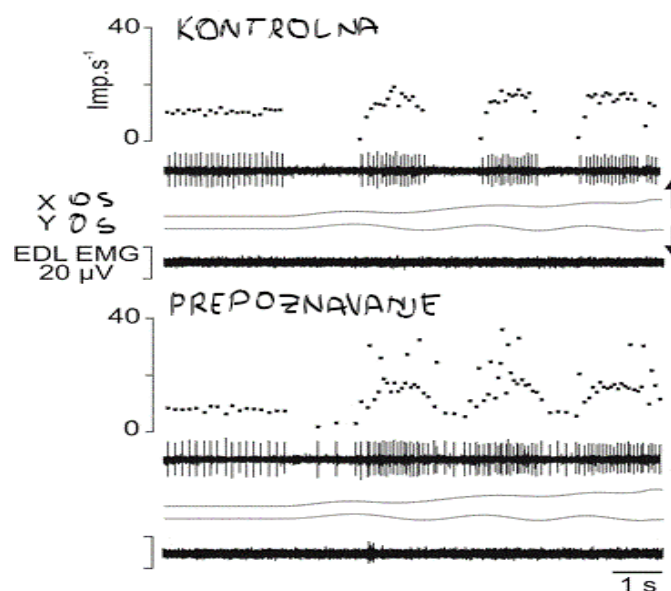
Slika 7. Primjer odgovora na pojačanje prilikom plantarne fleksije. Držanje možemo vidjeti lijevo, a sinusoidno kretanje na desnoj strani koji su korišteni za klasificiranje aferenta kao primarnog (gornji dio) ili sekundarni (donji dio). Svaki dio grafa, odozdo prema gore predstavlja nametnuto kretanje, jediničnu aktivnost i odgovarajuću krivulju trenutne frekvencije pražnjenja. Izvor:

<https://www.jneurosci.org/content/27/19/517>

U oba stanja nisu davani nikakvi vizualni znakovi, ali ispitanici su morali prepoznati ili imenovati lik u jednom stanju u usporedbi s ne obraćanjem pozornosti u kontrolnom stanju. Od 26 testiranih primarnih završetaka, 15 (58%) pokazalo je odgovore koji se razlikuju za neke pokrete kada se od subjekta tražilo da se usredotoče na putanju kretanja koja je opisivala brojeve i slova. Očitala se promjena u aktivaciji aferentnog završetka koji pripada EDL (m. extensor digitorum longus) mišiću tijekom formiranja riječ "u". Tijekom kontrolne (nije se obraćala pozornost) aktivnosti primarni aferent (tip Ia) mišića EDL pokazao je veću aktivnost tijekom plantarne fleksije, dok je tijekom dorzalne fleksije bio nepromijenjen. Kada je subjekt bio fokusiran na pokret aferent je postao osjetljiv tijekom cijele putanje pokreta, uključujući faze skraćivanja mišića, što je dovelo do smanjenje dubine modulacije pražnjenja povezana s kretanjem (Slika 8.). Također, takve promijene u obrascu odgovora opažene su u sedam drugih Ia aferenata (40).

Druga vrsta promjene otkrivena je u Ia aferentu koji pripada mišiću PL (m. peroneus lateralis) tijekom oblikovanja slova "m". U kontrolnoj sesiji, pokreti dorzalne fleksije bili su povezani s naletima aktivnosti koji odgovaraju trima okomitim elementima „m“, dok je

pokret plantarne fleksije bio povezan s neaktivnošću. Kad se ispitanik usredotočio na pokret da ga prepozna, naleti aktivnosti povezani s istežanjem mišića maksimalnim brzinama bili su znatno spljošteni za sve tri komponente odgovora. Nadalje, razdoblja neaktivnosti aferenata povezana sa skraćivanjem mišića povremeno su nestala ili smanjena. Takvo smanjenje u dubini modulacije pražnjenja povezana sa smanjenjem jedinične dinamičke osjetljivosti uočeno je u osam Ia aferenata. Promjene u Ia aferentnim odgovorima uključivale su smanjene dubine modulacije, povećanu varijabilnost pražnjenja i promjene u spontanoj aktivnosti. U slučajevima promijenjene osjetljivosti mišićnog vretena postotak ispravno prepoznatih pokreti je iznosio 63% , a kada je osjetljivost mišićnog vretena bila nepromijenjena postotak ispravno prepoznatih pokreta je iznosio 48%. Sukladno tome zadatak proprioceptivnog prepoznavanja može biti povezan s promjenama u osjetljivosti mišićnog vretena. Odgovori aferenata skupine II bili su samo slabo promijenjeni ili nepromijenjeni u usporedbi s kontrolnom sesijom (40). Rezultati ovog istraživanja pokazuju da usmjeravanje pažnje na kretanje može izazvati jasne promjene, osobito u Ia aferentnom završetku kod potpuno opuštenih osoba. Ujedno ovakvo fuziomotorno djelovanje u vidu promjene osjetljivosti mišićnog vretena olakšavaju proprioceptivno procesiranje koje pomaže u prepoznavanju pokreta.



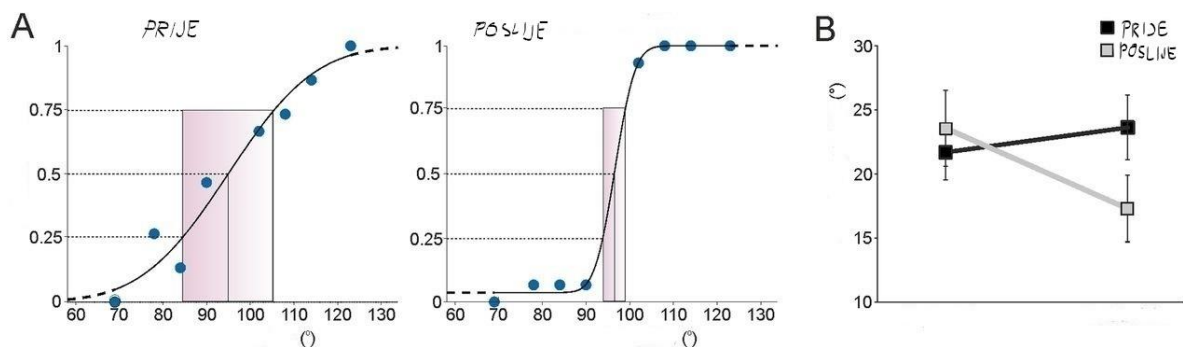
Slika 8. Prikaz povećane varijabilnosti trenutne frekvencije aferenata tip Ia tijekom faze prepoznavanja u usporedbi s kontrolnom fazom iz m. extensor digitorum longus prilikom pisanja slova „u“. Slika odozgo prema dole prikazuje krivulju trenutne frekvencije i niz skokova. Također, možemo iščitati frekvencije, nametnuto kretanje stopala, EMG i impuls istaknutog mišića. Izvor:

<https://www.jneurosci.org/content/27/19/5172>

1.6.2. Utjecaj pasivnog proprioceptivnog treninga na oštrinu procjene položaja zgloba

Somatosenzorni ulaz predstavlja temelj motoričkog učenja koji se može odviti u aktivnim, ali i pasivnim uvjetima (24). Dobra procjena zgloba rezultat je djelovanja Golgijevog tetivnog organa, Ruffinijevih ili Pacinijevih tjelešca te mišićnog vretena. Do sada smo istaknuli kako je jedino poznato da putem središnjeg živčanog sustava možemo modulirati djelovanje mišićnog vretena, odnosno možemo mijenjati njegovu osjetljivost putem gama fuziomotornog pogona (40). Promjene u osjetljivosti mišićnog vretena nisu vezane samo za pokret, već se pokazalo kako dolazi do promjene osjetljivosti aferentnih završetaka prilikom usmjeravanja pažnje na kretanje (40), prilikom rješavanja mentalnih zagonetki (41) te čak prilikom kognitivnih i emocionalnih procesa (42).

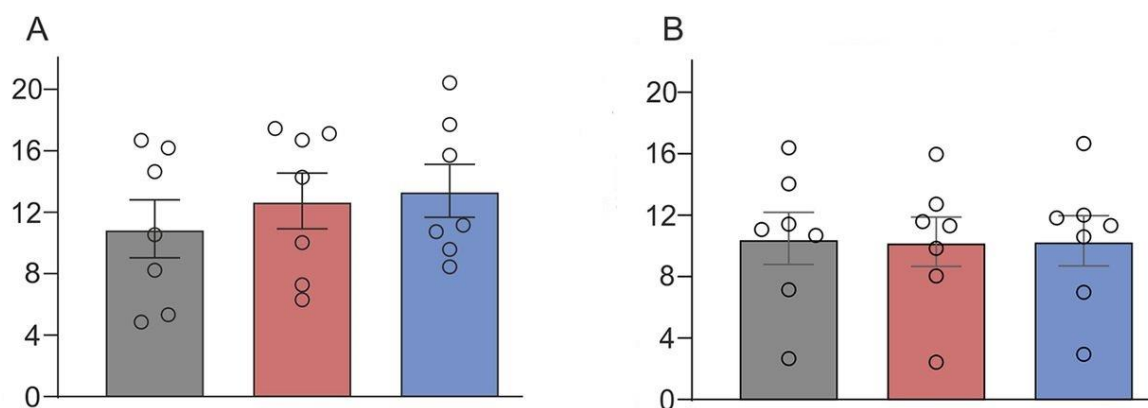
U istraživanju Ackerley i sur. istraživana je utjecaj pasivnog pokreta na procjenu položaja zgloba. Ispitanici su bili podijeljeni u dvije skupine: odabranu i kontrolnu skupinu. Lijeva noga sudionika bila je dovedena u različite položaje pomoću ramp-and-hold (istezanje mišića i zadržavanje duljine mišića) plantarne fleksije. Smjer ovih pokreta gležnja varirao je tako da postignuti položaji budu kružno raspoređeni u tabanu prostora fleksije. Smjer od 96° doveo je nogu do "referentne" pozicije, te četiri druga smjera na svakoj strani od referentne vrijednosti (123° , 114° , 108° , 102° i 90° , 84° , 78° , 69°). Ovaj postupak primijenjen je prije i nakon treninga te je kod odabrane skupine, prije treninga isporučen zvučni signal svaki put kad bi se postigla referentna vrijednost od 96° . Za ocjenjivanje i uspoređivanje točnosti procjene položaja zgloba koristila se kumulativna funkcija distribucije, stvarajući psihometrijsku krivulju za svakog sudionika (Slika 9.) (43).



Slika 9. Prikaz grafa koji pokazuje smanjenje nesigurnosti prilikom procjene položaja zgloba nakon pasivnog proprioceptivnog treninga. Lijevi dio slike A prikazuje podataka jednog sudionika prije treninga i poslije treninga. Plave točke označavaju odgovore za svaki smjer kretanja, a crveni okvir označava raspon nesigurnosti (između 25% i 75%). Desni dio slike B pokazuje kontrolnu (n = 16) i

praćenu (n = 16) skupinu i promjenu u rasponu nesigurnosti prije i nakon treninga. Izvor:
<https://www.eneuro.org/content/9/1/ENEURO.0249-21.2021.long>

Rezultati eksperimenta pokazuju kako se oštrina procjene zgloba poboljšala samo u skupini koja je primala signal za referentnu vrijednost. Ispitanikova sposobnost procjene položaja zgloba bila je u rasponu od 31° (raspon nesigurnosti), dok je nakon treninga sa signalom proprioceptijska oštrina sudionika poboljšana, kao što je prikazano povećanjem nagiba psiho metrijske krivulja što je rezultiralo smanjenjem raspon nesigurnosti do 7°. Za kontrolnu skupinu, proprioceptijska oštrina sudionika nije se promijenila značajno između dva ispitna postupka, gdje je raspon nesigurnosti blago povećan, ali ne značajno. Također, analizirana je „aktivnost“ sedam primarnih aferentnih završetaka (tri od EDL mišića i četiri iz TA mišića). Dinamički i statički indeksi analizirani su odvojeno. Za dinamički (ramp) te statički (hold) indeks pokreta mjerena je njihova amplituda: razlika između minimalne i maksimalne frekvencije svake krivulje. Krivulje podešavanja za svaku jedinicu u svakom stanju bile su značajne pogotovo za dinamički indeks pokazujući dobro uklapanje svakog odgovora mišićnog vretena tijekom pravca kretanja (Slika 10.) (43). Zaključno, oštrina procjene položaja gornjeg nožnog zgloba se poboljšala nakon pasivnog proprioceptivnog treninga koji je uključivao prepoznavanje pasivno primijenjenog pokreta stopala u određenom smjeru pomoću zvučnog signala (43). Poboljšanje u vidu procjene položaja zgloba povezano je s promjenom osjetljivosti mišićnog vretena što je povezano s razlikom u aktiviranju aferenta mišićnog vretena. Između ostalog, isti rezultat u vidu promjene osjetljivosti mišićnog vretena nakon „pasivne vježbe“ utvrdili su Hospod i sur. (40,43).



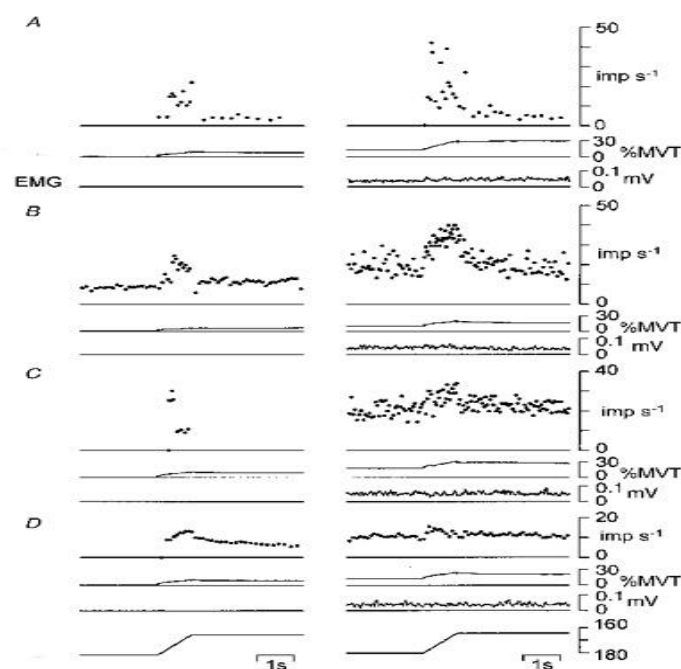
Slika 10. Prikaz podataka o amplitudi (minimalno – maksimalno pražnjenje izvedeno iz prilagođene kosinusne krivulje za sva kretanja) iz sedam Ia aferenata prikazani su za dinamički indeks (A) i statički indeks (B). Postojao je glavni učinak uvjeta za dinamički indeks, ali ne i za statički indeks. Sivi stupac prikazuje kontroliranu grupu, crveni prikazuje raspon nesigurnosti i plavi prepoznavanje referentne vrijednosti. Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8805769/>

1.6.3. Dinamička osjetljivost mišićnog vretena na istežanje tijekom voljne kontrakcije

Dinamička modularnost primarnog završetka mišićnog vretena ovisi o djelovanju statičkih i dinamičkih fuziomotornih neurona. Dinamički fuziomotorni neuroni povećavaju odgovor primarnih završetaka tijekom dinamičke faza podražaja, dok statički fuziomotorni neuroni djeluju u vidu održavanje konstantne duljine mišića (46). Pojedina istraživanja su potvrdila da je brzina aktiviranja aferentnog završetka mišićnog vretena obilježena nepravilnošću po pitanju ubrzanja (44), no također je dokazano kako je aktivnost neurona prisutno prilikom faze skraćivanja (45). Ovi nalazi ukazuju na djelovanje statičkog fuziomotornog neurona na mišićnim vretenima tijekom voljne kontrakcije (46). Primarni aferenti pokazuju visoku dinamičku osjetljivost na rastežanje pomoću ektrafuzijske kontrakcije tijekom faze opuštanja izometrijskih kontrakcija (45).

Mogućnost postojanja dinamičke osjetljivosti ljudskih mišićnih vretena na rastežanje tijekom voljne kontrakcije istražili su Kakuda i sur. Cilj istraživanja je bio prikazati odgovore dvadeset osam aferenata ljudskog mišićnog vretena mišića *m. ekstensor carpi radialis brevis* do velike amplitude rastežanja i otpuštanja u zglobov zapešća tijekom ravnomjerne voljne

kontrakcije. Samim time intencija je bila objasniti osnovni obrazac dinamičkog i statičkog fuzimotorno djelovanje na ljudsko mišićno vreteno (46). Promjena dinamičkog indeksa određena je izračunom razlike između zapisa tijekom opuštanja i onoga tijekom voljne kontrakcije svakog aferentnog završetka. Dvadeset tri primarna završetka i pet sekundarnih završetaka povećale su ili zadržale svoju brzinu aktivacije tijekom izometrijskih kontrakcija. Nasuprot je u jedinici A povećana brzina aktivacije dominantno uočena tijekom dinamičke faze istežanja. U jedinicama B i C brzina aktiviranja se ubrzala s izraženom nepravilnošću pri konstantnoj duljini mišića (Slika 11.) Daljnje povećanje brzine aktivacije primijećeno je tijekom dinamičke faze rastezanja u B, ali ne i u C. Trenutna brzina aktiviranja primarnih aferentnih završetaka je izražena u impulsima, moment pri zglobu zapešća je izražen kao % MVT, EMG kao mV i zglobni kut kao deg (46). Dinamički indeks povećan je u 48% primarnih aferentnih završetaka i smanjen u ostalima, u usporedbi s dinamičkim indeksom u opuštenom mišiću. Kao posljedica rastezanja mišića dobivamo povećanje dinamičkog indeksa što predstavlja dokaz dinamičkog fuzimotornog djelovanja, dok smanjenje dinamičkog indeksa sugerira statičko fuzimotorno djelovanje (46).



Slika 11. Prikazane su natprosječne trenutne brzine paljenja triju primarnih aferenta (A-C) i sekundarnog aferenta (D). Lijevi stupac je odgovor na rastezanje tijekom opuštanja. Desni stupac je odgovor zabilježen dok je subjekt održavao stabilnu kontrakciju. Točkice prikazuju trenutnu brzinu „aktiviranja“ aferenta, crta neposredno ispod prikazuje okretni moment, dok zadnja linija predstavlja EMG mišića. Tri primarna aferenta povećala su svoju brzinu aktiviranja pri konstantnoj duljini mišića i tijekom dinamičke faze istežanja, dok su subjekti održavali postojanu kontrakciju (desni stupac).

Dinamički odgovor na rastezanje povećan je u A i B, a smanjen u C. Izvor:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2231301/>

Istodobno, Jones i sur. su istražili jesu li senzorne informacije iz mišićnih vretena kodirane za smjer i položaj šake u zglobu zapešća te na koji način fuziomotorni sustav može utjecati na moduliranje mišićnog vretena (47). Ispitanici su sudjelovali u zadatku ciljanja s osam meta kružno raspoređenih oko neutralnog položaja zapešća. Rezultati su prikazali da aferenti mišićnih vretena reagiraju kao receptori rastezanja, tj. brzine impulsa povećavale su se produljenjem i smanjivale skraćivanjem, u aktivnim i pasivnim pokretima. S obzirom da su rezultati gotovo podjednaki tijekom aktivnih i pasivnih pokreta dolazimo do zaključka da aktivna kontrakcija ne utječe na fuziomotorni učinak usmjeravanja smjera pokreta. Naime, iako aktivan ili pasivni pokret ne utječe na samo kodiranje smjera pokreta, rezultati su pokazali kako suprotstavljanje gravitaciji igra ulogu u načinu aktivacije mišićnog vretena. Mišićna vretena koja su se suprotstavljala gravitaciji prikazala su odgovor na rastezanje i usmjeravanje tijekom same faze pokreta, dok je njihova osjetljivost na položaj bila slaba. Nasuprot tome, mišićna vretena koja nisu imala anti gravitacijsku ulogu bila su pokazala su veću osjetljivost na položaj zgloba (47).

1.6.4. Je li konfiguriranje mišićnog vretena povezano s aktivacijom skeletnih mišića ?

Najpopularnije objašnjenje kontrole ljudskog vretena temelji se na ' α - γ KO aktivaciji'. Aktivacija γ fuziomotornog neurona se događa usporedno s aktivacijom α motornog neurona, kako bi se spriječilo opuštanje vretena tijekom mišićne kontrakcije. Ovakvo sinkronizirano aktiviranje α - γ neurona jednostavno održava mogućnost rastezanja operativnim. Samim time, fuziomotorna kontrola omogućava vretenima da nastave funkcionirati kao pouzdani kinematički proprioceptori. Ono što je karakteristično je upravo to da samo sisavci imaju γ motoričke neurone. Neovisna opskrba γ neuronima stoga mora predstavljati evolucijsku prednost, ostvarenu kroz sposobnost odvajanja kontrole vretena od kontrole skeletnih mišića (49).

Pomoću ' α - γ KO aktivacije' možemo objasniti uočeno povećanje aferentnog aktiviranja mišićnog vretena tijekom izometrijske kontrakcije vretenastog mišića (46) što možemo povezati sa 'automatskim' skaliranjem pojačanja refleksa istežanja kratke latencije ili SLSR gdje je osjetljivost refleksa proporcionalna na pozadinsku aktivaciju istoimenog mišića (48). Refleks istežanja kratke latencije je najkraća udaljenost koju treba prijeći refleksni

signal, stvarajući tako brz odgovor. Spinalna kontrola refleksa istežanja znači da signal putuje između mišića i leđne moždine. Signal se vraća u mišić iz istog segmenta leđne moždine gdje je ušao u leđnu moždinu (50). Voigt i sur. otkrili su da skakutanje, odnosno pokret izaziva kratkotrajni refleks istežanja koji je uočen u m. soleus. EMG amplituda ovog refleksa istežanja bila je u negativnoj korelaciji s procijenjenom vršnom brzinom istežanja mišićnog vretena (49). Samim time, iako osjetljivost vretena na istežanje tj. pokret može biti pozitivno povezano s razinom aktivnosti vretenastog mišića (40,41), ujedno može biti i negativno povezan s antagonističkom mišićnom aktivnošću. Točnije, tijekom kontinuiranih sinusoidnih pokreta prstiju protiv otpora pokazalo se da odgovor mišićnog vretena na rastežanje ovisi i o aktivnosti antagonističkih mišića, odnosno bitna je dobra dinamika zgloba, a ne isključivo aktivnost agonističkog vretenastog mišića (49).

Nedavno su testirali hipotezu da se osjetljivost SLSR-a (*short-latency stretch reflex*) tijekom kretanja može objasniti ravnotežom aktivnosti preko mišića agonista i antagonista. Uočene promjene u osjetljivosti SLSR-a tijekom balističkih pokreta lakta odražavale su pozadinsku aktivnost u mišićima agonistima i antagonistima te se pokazalo kako je utjecaj aktivnosti agonista i antagonista na dobitak SLSR-a vrlo sličan. Ovim možemo implicirati da promjena osjetljivosti mišićnog vretena nije usko vezana samo uz povećanu varijabilnost pražnjenja i promjene u spontanoj aktivnosti samog vretena, već je barem djelomično odgovorno za oblikovanje SLSR pojačanja tijekom sinusoidnih (zadano kretanje s frekvencijom) i balističkih kretanja pod različitim opterećenjima (49). 'Antagonistički' način kontrole pokazuje da promjena osjetljivosti vretena na rastežanje ne odražava samo stanje istoimenog (agonističkog) mišića (49).

1.6.5. Opravdanost učinka mišićnog vretena na kodiranje istežanja mišića ili rotacije zgloba

Odgovor vretena na fizički podražaj (tj. mehano receptorski signal) može se modulirati prema kontraktilnom stanju mišića koji izvode pokret, ali ujedno i mišića koji izvode suprotni pokret. Mišićno vreteno nije jedinstveni senzor koji pouzdano kodira istežanje mišića ili pokret zgloba, već objedinjuje mehaničke stimulacije i fuzimotorne naredbe čime vretena pomažu povećati voljnu motoričku kontrolu u skladu s prevladavajućom dinamikom oko jednog zgloba. S tog stajališta proizlazi da moduliranje mišićnog vretena zahtjeva ravnotežnu

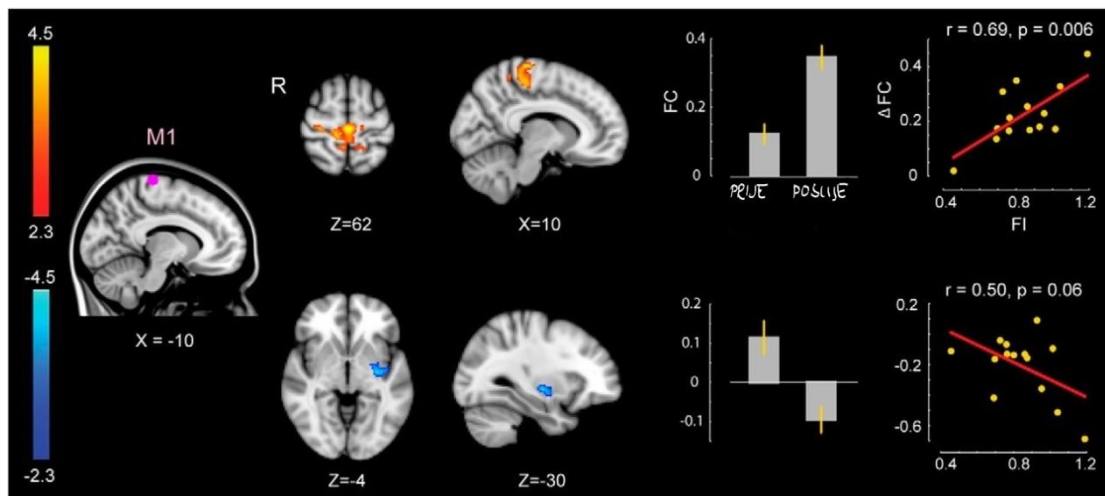
aktivaciju mišića oko zgloba što daje pretpostavku da uloga promjene osjetljivosti mišićnog vretena osigurava održavanje dinamike zglobova (49). Ujedno činjenica da fokusiranje, odnosno obraćanje pozornosti na pokret izaziva promjene bilo u statici ili u dinamici fuziomotornog učinka na mišićno vreteno (40). Također, poboljšanje oštine procjene položaja zgloba nakon pasivnog proprioceptivnog treninga koji se sastojao od učenja prepoznavanja pasivnog primijenjenog pokreta stopala u određenom smjeru sugerira da je povećana oštrina povezana s povećanjem (promjenom) osjetljivosti mišićnog vretena (43). Stoga stoji pretpostavka da je moguće izazvati promjene u aktiviranju mišićnog vretena s periferije što posljedično može doprinijeti i podržati središnje perceptivno i motoričko učenje.

1.7. Utječe li perceptivno učenje na motoričku izvedbu

Perceptivno učenje može imati važnu ulogu u motoričkom učenju/izvođenju, no vrlo često su senzorni i motorički sustavi aktivni u tandemu te nije lako pripisati izvor neuronskih i bihevioralnih promjena pojedinom sustavu. Promjene se mogu pripisati motoričkom učenju kroz poticanje osjetilnih promjena ili perceptivnom učenju poticanjem pokreta ili pak to dvoje u kombinaciji. Vahdat i sur. su u svom članku odvojili perceptivno i motoričko učenje u vremenu kako bi se usredotočili na neuronsku povezanost perceptivnog učenja u motoričkom sustavu. Oni su testirali hipotezu da somatosenzorno perceptivno učenje dovodi do trajnih promjena u motoričkim područjima mozga koja se ne mogu objasniti samo somatosenzornim promjenama (51). Proučavali su kratkoročne neuronske poveznice perceptivnog učenja (unutar 1 h) analizom promjena u funkcionalnoj povezanosti tijekom razdoblja mirovanja nakon perceptivnog somatosenzornog treninga. U perceptivnom treningu robotski uređaj pasivno je pomicao ruku prema van duž jedne od niza staza u obliku lepeze, na način da ispitanici nisu pratili ruku pogledom. Subjekti su trebali procijeniti je li robot pomaknuo ruku desno ili lijevo od središnje linije (51).

Za procjenu mogućih promjena u mozgu, ali i u motoričkom ponašanju, koji su povezani s perceptivnim treningom, treningu je prethodio i slijedio *Functional magnetic resonance imaging* (fMRI) ili funkcionalna magnetska rezonancija mozga. Skeniranja mozga je provedeno u stanju mirovanja kao i stanju postizanja određenog položaja (pokret nultog polja).

Rezultati su pokazali da perceptivni trening izaziva plastičnost (modulaciju) u ljudskom motornom sustavu koja se ne može objasniti aktivnosti u somatosenzornoj mreži. Uočili su da perceptivni trening mijenja karakteristike naknadnih pokreta i poboljšava somatosenzorne perceptivne prosudbe. Perceptivno učenje rezultira promjenama u funkcionalnoj povezanosti između primarnog somatosenzornog korteksa i frontalnih motoričkih područja (M1 i PMd bilateralno). M1 je jedino područje mozga koje je pokazalo značajnu promjenu u funkcionalnoj povezanosti s FI (motorno učenje) mjerom. Slika 12 pokazuje rezultat djelomične korelacijske analize nakon uklanjanja svih prethodnih područja u nizu perceptivne obrade. Uočeno je da postoje jasne perceptivne promjene povezane s proprioceptivnim učenjem koje je povezano s stadijima somatosenzornog redosljeda donošenja odluka. Promjene aktivnosti somatosenzornih mreža pokazuje korelaciju sa promjenama u motoričkim područjima. Rezultati ovih analiza podupiru ideju da perceptivno učenje zapravo mijenja motorička područja mozga što može sugerirati da postoje različiti mehanizmi djelovanja plastičnosti mozga prilikom perceptivnog ili opažajnog učenja (Slika 12.) (51).



Slika 12. Prikaz promjene povezanosti primarnih somatosenzornih područja u odnosu na promjenu motoričke izvedbe. Svaki red prikazuje regiju sjemena s lijeve strane, a s desne strane je prikazana z-mapa klastera koja korelira s regijom sjemena koja se pouzdano povećava kao rezultat perceptivnog treninga ($r = 0,69$, $p = 0,006$). Grafovi prikazuju povezanost prije i nakon perceptivnog treninga i koeficijent korelacije između ΔFC i promjena u motoričkoj izvedbi (MI). M1 ili primarna motorička regija je jedina početna regija koja je pokazala značajnu promjenu u funkcionalnoj povezanosti u vezi s mjerom FI (motorno učenje). Z-koordinate poprečnih presjeka prikazane su u MNI prostoru.

Vrijednost r predstavlja Pearsonov koeficijent korelacije. Izvor:

<https://www.jneurosci.org/content/34/7/2451#F3>

1.8. Skok u dalj

Skok u dalj je atletska disciplina koja datira još iz vremena Grka te ujedno predstavlja funkcionalni test za procjenu eksplozivne snage mišića nogu. Provedba skoka u dalj procjenjuje se prema dužini izvedenog skoka, odnosno uzima se vodoravna udaljenost od linije polijetanja do linije pete pri slijetanju (52).

S obzirom na vrste skoka u dalj razlikujemo:

- Skok udalj sa zaletom: Ovo disciplinu karakteriziraju četiri osnovne faze izvođenje tj. faza zaleta, faza odraza, faza leta i faza doskoka (53). Postoje različite vrste tehnike skoka (viseća, uvinuće i koračna) te kako bi usavršili tehniku potrebna je vrlo dobra koordinacija rade ruku i nogu što se postiže dugogodišnjim treningom (53). Tehnika igra veliku ulogu pa je moguće da test podcijeni pravi potencijal osobe ako se ne koristi odgovarajuća (dovoljno dobra) tehnika (52).
- Skok u dalj s mjesta: Ovo je ista atletska disciplina koja se izvodi bez faze zaleta, odnosno obuhvaća fazu odraza, leta i doskoka. Osoba se priprema za skok na način da stopala postavlja paralelno. Koljena su blago savijena kao i kukovi te se ruke pomiču naprijed – nazad kako bi osoba uhvatila pravilan ritam za što bolji odraz (52). Noge napuštaju podlogu u trenutku kada su ruke ispred tijela, otprilike u nešto većoj razini ramena. Tijekom faze doskoka noge trebaju biti što je više moguće dalje (ispred) od tijela. Koristeći zamah ruku u natrag neposredno prije doskoka osiguravamo da nam noge krenu što je više moguće naprijed čime osiguravamo bolji rezultat skoka (52).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je istražiti akutni utjecaj proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta, gledajući dužinu skoka u dalj s mjesta prije i nakon provedenih proprioceptivnih vježbi. Također, cilj istraživanja je ispitati je li učinak proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta varijabilan prema spolu te ispitivanje razlike dužine skoka u dalj nakon proprioceptivnih vježbi kod osoba koje se bave sportom i kod osoba koje

se bave sportom manje od 3 puta tjedno ili se ne bave uopće. Akutni učinak proprioceptivnih vježbi u okviru trenutnog poboljšanja izvedbe sportske aktivnosti nije istraživani i upravo je to jedan od razloga odabira ove teme kako bi ustanovio mogući pozitivan učinak koji bi se naknadno mogao implementirati u sport.

H1: doći će do povećanja dužine skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi.

H2: kod muškaraca i žena doći će do podjednakog povećanja dužine skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi.

H3: kod sportsko aktivne grupe doći će do veće razlike u dužini skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi u odnosu na grupu koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedna ili se ne bavi uopće.

3. ISPITANICI I METODE

3.6. Ispitanici

U svrhu istraživanja primijeniti će se jednostavni prigodni uzorak studenata. Planirani broj ispitanika je 32. Ispitanici će biti podijeljeni u dvije grupe s jednakim brojem muškaraca i žena. U jednoj grupi biti će 16 ispitanika koji se bave sportskom aktivnošću (8 M i 8 Ž), a u drugoj 16 ispitanika koji se ne bave sportskom aktivnošću ili su sportsko aktivni manje od 3 puta tjedno (8 M i 8 Ž). Ispitanici će biti studenti preddiplomskog studija fizioterapije na Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci dobi između 18 i 23 godine. Ispitivanje akutnog utjecaja proprioceptivnih vježbi na razliku dužine skoka u dalj s mjesta provoditi će se u dvorani na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci.

3.7. Metode (postupak i instrumentarij)

Mjerenje će se provoditi tijekom 5. i 6. mjeseca 2023.godine. Svi ispitanici će biti upoznati sa protokolom i načinom provođenja intervencije koje se provodi samo u svrhu istraživačkog rada s eventualnom objavom u nekom od stručnih ili znanstvenih časopisa. Ispitanik nije obavezan pristupiti mjerenju te može odustati u bilo kojem trenutku. Svi ispitanici će proći jednaki protokol koji se sastoji od kratkog aerobnog zagrijavanja nakon čega će slijediti tri uzastopna skoka u dalj s mjesta. Zatim će biti provedena intervencija u obliku proprioceptivnog treninga nakon čega će ponovno tri puta skakati u dalj s mjesta. Aerobno zagrijavanje će se provoditi u dvorani na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci u obliku 5 – minutnog trčanja nižeg intenziteta putem metode subjektivnog osjećaja opterećenja. Nakon aerobnog zagrijavanja izvoditi će se skok u dalj s mjesta. Skok u dalj s mjesta izvodit će se iz pozicije polučučnja zajedno s koordiniranim zamahom ruku i sunožnim odrazom. Mjerenje će se izvršiti pomoću centimetarske vrpce koja će biti smještena u dužini namijenjenoj za izvedbu skoka s označenom startnom pozicijom. Za potvrdu ili ispravak rezultata u mjerenju će se koristiti i digitalna kamera kojom će zabilježiti dužina skoka. Dužina skoka je „horizontalna udaljenost vrhova prstiju stopala od odrazne linije do linije doskoka koja se mjeri iza posljednjeg otiska stopala“, dakle zadnja točka stopala predstavlja mjeru dužine skoka u odnosu na startnu poziciju (13). Skok će se izvesti tri puta od čega će biti uzeta vrijednost najdaljeg skoka. Slijedit će kratki predah od 1 minute koji će se iskoristiti za objašnjavanje obrasca proprioceptivnog treninga. Nakon kratkog objašnjavanja uslijedit će proprioceptivni trening. Proprioceptivni trening sastojat će se od 5 uzastopnih vježbi koji će trajati 10 minuta.

Redosljed i obrazac vježbi je pažljivo odabran na temelju istraživanja „*Changes in Muscular Activity in Different Stable and Unstable Conditions on Aquatic Platforms*“ koji je prikazao povećanu mišićnu aktivnost pojedinih grupa mišića u izometričkim i dinamičkim kontrakcijama čučnja na nestabilnoj podlozi što može rezultirati većom izlaznom silom nakon provedenih vježbi (11). Između ostalog, akutno povećanje mišićne aktivnosti trupa prilikom izvođenja čučnja na nestabilnoj podlozi potvrdili su Anderson i sur. u istraživanju „*Trunk Muscle Activity Increases With Unstable Squat Movements*“ (54). Pejić i sur. u svom istraživanju „*Efekt različitih protokola zagrijavanja na sposobnost održavanja ravnoteže kod rukometašica*“ su koristile slične obrasce vježbi propriocepcije kojima su postigli vrlo dobre rezultate u vidu sposobnosti održavanja ravnoteže na jednoj nozi (13). Prva vježba u našem

istraživanju sastojala se od balansa na jednoj nozi s savijenim koljenom koji prati pokret spuštanja u položaj vage. Balansiranje i spuštanje u položaj vage provodit će se pet puta sa svakom nogom. Nakon ove vježbe uslijedit će balansiranje na jednoj nozi (flektirano koljeno), dok će s drugom nogom dodirivati podlogu naprijed, natrag i lateralno. Provest će se tri kruga sa svakom nogom. Zatim će ispitanici balansirati na balans ploči sa dvije noge tako što će 30 sekundi održavali ravnotežu i 15 sekundi će odmarati. Takvo balansiranje ćemo ponoviti dva puta. Nakon toga će slijediti balansiranje na jednoj nozi na gumenom jastuku u trajanju od 30 sekundi sa svakom nogom. U zadnjoj vježbi ispitanici će balansirati sa dvije noge na balansnoj ploči s dinamičnim spuštanjem u polučučanj. Balansiranje s dinamičnim spuštanjem izvoditi će kroz dvije serije po pet ponavljanja. Nakon provedenih vježbi propriocepcije ispitanici će predahnuti 2 minute kako bi se adekvatno pripremili za ponovno skakanje u dalj s mjesta. Skakanje će se provesti tri puta kao i nakon aerobnog zagrijavanja. Svaki skok u dalj s mjesta biti će mjeren istim principom kao i prije te će se uzimati najveća vrijednost skoka.

Mogući problemi istraživanja proizlaze iz neiskustva ispitivača, nepripremljenosti ispitanika te malog broja ispitanika.

3.8. Statistička obrada podataka

U ovom istraživačkom radu varijable spola i tjelesne aktivnosti izražene su na nominalnoj ljestvici, a bit će opisane frekvencijama i postotcima. Varijabla razlike dužine skoka u dalj s mjesta izražena je na omjernoj ljestvici (u postotcima), a bit će opisana aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom. Kod ispitivanja povezanosti spola s razlikom u dužini skoka u dalj s mjesta, spol predstavlja nezavisnu varijablu, dok zavisnu varijablu predstavlja razlika u dužini skoka u dalj s mjesta. Također, kod ispitivanja bavljenja sportom i razlike u dužini skoka u dalj s mjesta, nezavisnu varijablu predstavlja bavljenje sportom, dok zavisnu varijablu predstavlja razlika u dužini skoka u dalj s mjesta, odnosno drugo mjerenje minus prvo mjerenje.

Za testiranje prve hipoteze predviđen je t-test za zavisne uzorke, dok je za drugu i treću hipotezu predviđen t-test za nezavisne uzorke oba na razini značajnosti $p < 0,05$. Za obradu podataka koristit će se programska podrška pod nazivom Statistica (Version 13.5.0.17) i Microsoft Excel 2010.

3.9. *Etički aspekti istraživanja*

Svi ispitanici koji će pristati na mjerenje potpisati će suglasnost u obliku informiranog pristanka koji je u potpunosti anonimna uz razumijevanje za mogućnost nastanka ozljede. Rezultati mjerenja će se koristiti samo u svrhu izrade završnog rada i eventualne objave u nekom od stručnih ili znanstvenih časopisa. Prije početka procesa mjerenja zatražit će se suglasnost Etičkog povjerenstva za biomedicinska istraživanja Fakulteta zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci.

4. **REZULTATI**

Rezultati skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi su poprilično pozitivni po pitanju povećanja dužine skoka u dalj s mjesta. Većina ispitanika je skočila dalje nakon proprioceptivnih vježbi, dok je preostala nekolicina ispitanika skočila nešto kraće u odnosu na inicijalno mjerenje prije provedenih vježbi. Rezultati svih ispitanika, obuhvaćajući muški i ženski spol te grupu koja se bavi sportskom aktivnošću („sportsko aktivna“ grupa) i grupu koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedna ili se ne bavi uopće („sportsko neaktivna“ grupa) pokazuju da je razlika u dužini skoka u dalj prije i nakon proprioceptivnih vježbi statistički značajna na nivou značajnosti $p < 0.05$ ($p = 0,000007694$). S obzirom na rezultate, 28 ispitanika je skočilo dalje nakon vježbi propriocepcije, dok je 4 ispitanika skočilo kraće nakon provedenih vježbi.

Tablica 1. Rezultati dužine skoka u dalj s mjesta prije i poslije proprioceptivnih vježbi, uključujući sve muškarce (M) i žene (Ž) iz obje „sportsko aktivne“ i „sportsko neaktivne“ grupe

Ispitanici	M – prije (Obje grupe)	M – poslije (Obje grupe)	Ž – prije (Obje grupe)	Ž – poslije (obje grupe)
1.	2,23	2,36	1,58	1,59
2.	2,45	2,54	1,63	1,55
3.	2,11	2,16	1,63	1,7
4.	2,06	2,07	1,66	1,72
5.	2,03	2,05	1,66	1,72
6.	2,23	2,22	1,51	1,56
7.	2,06	2,08	1,66	1,65
8.	2,6	2,7	1,66	1,74
9.	2,26	2,31	1,77	1,82
10.	2,49	2,48	1,68	1,73
11.	2,38	2,47	1,51	1,56
12.	2,18	2,34	1,54	1,58
13.	2,18	2,27	1,72	1,85
14.	2,05	2,08	1,63	1,65
15.	2,26	2,32	1,69	1,72
16.	2,39	2,33	1,85	1,89
Aritmetička sredina	2,24	2,29	1,65	1,69

Gledajući utjecaj proprioceptivnih vježbi kod muškaraca i žene u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta utvrđeno je kako su muškarci prosječno duže skakali nakon proprioceptivnih vježbi u odnosu na žene što je utvrđeno aritmetičkom sredinom. Rezultati oba spola pokazuju kako je razlika u dužini između skoka u dalj s mjesta prije i poslije proprioceptivnih vježbi statistički značajna na nivou značajnosti $p < 0,05$ (M prije i poslije – $p = 0,0013$, Ž prije i poslije – $p = 0,0012$). Kod muškaraca i žena došlo je do praktički podjednakog povećanja dužine skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi uz zabilježeno nešto veće poboljšanje kod muškaraca.

Tablica 2. Rezultati dužine skoka u dalj s mjesta kod „sportsko aktivne“ i „sportsko neaktivne“ grupe

Ispitanici	„Sportsko aktivna grupa“		„Sportsko „neaktivna“ grupa“	
	Prije	Poslije	Prije	Poslije
1.	2,23	2,36	1,58	1,59
2.	1,63	1,7	1,63	1,55
3.	2,45	2,54	1,66	1,72
4.	1,51	1,56	1,66	1,72
5.	1,66	1,65	2,11	2,16
6.	2,06	2,07	1,77	1,82
7.	1,66	1,74	2,03	2,05
8.	1,68	1,73	1,51	1,56
9.	2,23	2,22	1,54	1,58
10.	2,6	2,7	2,06	2,08
11.	1,72	1,85	1,63	1,65
12.	1,69	1,72	2,26	2,31
13.	1,85	1,89	2,18	2,34
14.	2,49	2,48	2,18	2,27
15.	2,38	2,47	2,05	2,08

Rezultati pokazuju poboljšanje u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta kod grupe koja se bavi sportskom aktivnošću te je dobivena razlika statistički značajna na nivou značajnosti od 5% („**sportsko aktivna grupa**“ $p = 0,0001$). Između ostalog, utvrđeno je veće poboljšanje u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta nakon proprioceptivnih vježbi kod grupe koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedno ili se ne bavi sportskom aktivnošću uopće te je dobivena razlika statistički značajna („**sportsko neaktivna grupa**“ $p = 0,0097$)

Na temelju dobivenih rezultata kod sportsko aktivne grupe na nivou značajnosti od 5% ne možemo tvrditi da će doći do veće razlike u dužini skoka u dalj s mjesta nakon provedenih proprioceptivnih vježbi u odnosu na grupu koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedno ili se ne bavi sportskom aktivnošću uopće te u ovom slučaju nećemo prihvatiti definiranu hipotezu H3

5. RASPRAVA

Veći broj istraživanja je proučavala utjecaj propioceptivnih vježbi na izvedbu određenih sportskih aktivnosti kroz duži vremenski period u trajanju od 6 – 12 tjedana ili duže (3,4,8). Također, istraživanja su najčešće proučavala utjecaj propioceptivnih vježbi na izvedbu više specifičnih testova koji su gotovo uvijek uključivali: vertikalni skok, sunožni skok, testove agilnosti te samu sposobnost održavanja ravnoteže na balans ploči ili balans platformi (3,4,8,9,13). Nasuprot tome, o trenutnom učinku propioceptivnih vježbi na izvedbu sportske aktivnosti nema previše istraživanja. Pejić i sur. u svom istraživanju željeli su utvrditi akutne efekte različitih protokola zagrijavanja na sposobnost održavanja ravnoteže na jednoj nozi. Najbolji rezultati u vidu sposobnosti održavanja ravnoteže na dominantnoj i nedominantnoj nozi postignuti su nakon protokola zagrijavanja koji je uključivao dinamičko istežanje i vježbe propiocepcije (13). Osim toga, Hammami i sur. u svom istraživačkom članku testirali su akutni utjecaj različitih vrsta vježbi balansa na izvedbu statičke ravnoteže, izvedbu vertikalnog skoka te na promjenu brzine smjera koji je testiran T – half testom. Rezultati su pokazali male do velike akutne promjene u performansama ravnoteže i izvedbi T-half testa, dok nije došlo do promjene u visini skoka (14). Rezultati ova dva istraživanja prikazuju da je akutni efekt prisutan u vidu povećanja ravnoteže i poboljšanja određenih sportskih izvedbi. Gledajući naše rezultata prije i nakon skakanja došli smo do sličnog zaključka, no međutim ne možemo sa sigurnošću tvrditi da je jedna metoda bolja od druge. Rezultati našeg istraživanja su pokazali da je utjecaj statistički značajan, ali to ne znači da ne bi isto vrijedilo i za drugu metodu kao što je npr. dinamičko istežanje (14).

Studije su najčešće istraživale akutni učinak propioceptivnih vježbi na mišićnu aktivaciju. U provedenim istraživanjima korištena je metoda elektromiografije kako bi utvrdili moguće promjene elektromiografske aktivnosti prilikom izvođenja određenih vježbi na nestabilnim podlogama. Povećanje elektromiografske aktivnosti odmah nakon propioceptivnih vježbi prikazali su Anderson i sur. u svom istraživačkom članku. Ispitanici su izvodili vježbu prsnog pritiska uz otpor ispod stabilne (klupe) i nestabilne (švicarska lopta) podloge. Cilj je bio izmjeriti razlike u mišićnoj aktivnosti *musculus pectoralis major*, *m. deltoideus*, *m. triceps brachii*, *m. latissimus dorsi*, i *m. rectus abdominis* tijekom izvođenja izometrijske i dinamičke kontrakcije prsnog potiska. Nije bilo razlike u elektromiografskoj aktivnosti navedene muskulature za submaksimalni izometrijski i dinamički protokol s obzirom na vrstu podloge. Međutim, uočene su značajne razlike u mišićnoj aktivaciji s

obzirom na tip kontrakcije. Rezultati su ukazali da izvođenje prsnog potiska na švicarskoj lopti uzrokuje povećanje mišićne aktivacije prilikom koncentrične kontrakcije m. pectoralis major i m. deltoideus u odnosu na izvođenje istog potiska na klupi. Sposobnost rekreiranja maksimalne voljne izometrijske sile u stabilnim uvjetima značajno je premašila izlaznu silu u nestabilnim uvjetima. Iako je izlazna sila manja, izvođenje vježbi na nestabilnim platformama potiče pojedinca na povećanu koordinaciju više sinergističkih, stabilizirajućih i antagonističkih mišićnih skupina(10). Također, povećanje elektromiografske aktivnosti utvrdili su Conceição i sur. ispitivanjem aktivacije mišića u položaju čučnja i u položaju izdržaja koje se izvode na stabilnoj podlozi i na vodenoj (nestabilnoj) platformi. Elektromiografija je pokazala veću aktivaciju m. erector spinae i m. external abdominal oblique prilikom izvođenja izdržaja na vodenoj platformi u odnosu na tvrdu podlogu. Očitana je povećana aktivacija m. biceps femoris i m. external abdominal oblique prilikom izvođenja dinamičkog čučnja na nestabilnoj vodenoj podlozi te povećana mišićna aktivnost m. rectus femoris u statičkoj kontrakciji (11). Povećanje elektromiografske aktivnosti odmah nakon proprioceptivnih vježbi utvrđeno je provedenim istraživanjima što sugerira da provođenje vježbi u nestabilnim uvjetima može uzrokovati povećanu aktivaciju određenih mišićnih skupina (9,10,11,54). Posljedično povećanje mišićne aktivacije rezultira jačom mišićnom kontrakcijom pojedinih grupa mišića, čija povećana aktivnost može pozitivno utjecati na spremnost i aktivnost neposredno prije sportske izvedbe, odnosno u ovom slučaju skoka u dalj s mjesta. Pomoću povećanja elektromiografske aktivnosti pojedinih mišićnih skupina možemo objasniti rezultate ispitanika koji su skočili dalje nakon provedenih proprioceptivnih vježbi.

Pretpostavka da jedino možemo modulirati tj. mijenjati osjetljivost mišićnog vretena putem pasivne ili aktivne vježbe potvrđuju prethodno navedena istraživanja (40,43,46). Pa tako usmjeravanje pažnje prilikom pasivnog/aktivnog pokreta može promijeniti osjetljivost tj. brzinu pražnjenja primarnih aferenata mišićnog vretena, izazvati promjene bilo u statici ili u dinamici fuziomotornog pogona što može osigurati buduću bolju proprioceptijsku kontrolu i funkciju (40,43,46). Iako ne možemo potvrditi da proprioceptivnim treningom mijenjamo broj perifernih receptora, postoje mogući središnji mehanizmi koji objašnjavaju kako trening može promijeniti proprioceptiju. Ulazno – izlazni odnos bilo kojeg receptora može se definirati u smislu njegovog pojačanja, gdje je dobitak definiran kao izlazna brzina aktiviranja receptora podijeljena s veličinom ulaznog podražaja (12). Provođenjem proprioceptivnih vježbi na taj način pruža pretpostavku kako možemo utjecati na povećanu varijabilnost i brzinu pražnjenja

mišićnog vretena koje neposredno utječe na dinamiku zgloba ali i na samu izvedbu (40,43,46). Stoga, dolazimo do pretpostavke da se propriocepcija poboljšava kada se mišići kontrahiraju u zglobu kao rezultat povećane fuzimotorne aktivnosti ili pak zbog promijene mišićnog tonusa (12).

Na temelju našeg istraživanja možemo zaključiti da postoji statistički značajan utjecaj proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta ($p = 0,000007694$) što potvrđuju ispitanici koji su skočili dalje nego prvi put, odnosno nakon provedenih vježbi. Ujedno, rezultati pokazuju kako je došlo do skoro podjednagog povećanja dužine skoka u dalj s mjesta kod oba spola nakon provedenih proprioceptivnih vježbi što označava jednaku uspješnost primjene kod muškaraca i žena. Nadalje, rezultati pokazuju da je poboljšanje u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta veće kod grupe koja se bavi sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedno ili se ne bavi sportskom aktivnošću uopće. Iako je inicijalno bila pretpostavka da će „sportsko aktivna“ grupa imati veću razliku u dužini skoka u dalj s mjesta nakon provedenih vježbi ovi rezultati prikazuju kako osobe koje ne treniraju redovito imaju veći benefit od ovakvog tipa vježbi.

Tu se otvara pretpostavka da osobe koje ne treniraju redovito nemaju jednako dobro razvijenu propriocepciju u odnosu na osobe koje češće treniraju te ovakav tip treninga ima jači utjecaj na njihovu sportsku izvedbu. Druga pretpostavka je da osobe koje se bave sportskom aktivnošću manje od 3 puta tjedno ili se ne bave sportskom aktivnošću uopće nisu jednako motivirane i vrlo često ne daju svoj maksimum odmah na početku testa kao osobe koje se bave redovitom sportskom aktivnošću. Upravo to može u neku ruku objasniti slabija početna skakanja što posljedično može rezultirati većim poboljšanjem, odnosno veće povećanje dužine skoka u dalj s mjesta nakon proprioceptivnih vježbi. Također, može se pretpostaviti kako osobe koje se bave redovitom sportskom aktivnošću imaju bolji tonus mišića ili često provode slične vježbe, pa provedene proprioceptivne vježbi nisu dovoljno izazovne (intenzivne) kako bi izazvale značajnije povećanje mišićne aktivacije.

Između ostalog, možemo pretpostaviti da je akutni utjecaj proprioceptivnih vježbi na skok u dalj s mjesta poprilično individualan. Prvenstveno za neke ispitanike su vježbe možda bile pre intenzivne pa su ti ispitanici dostigli određenu dozu umora koja je mogla utjecati na njihovu izvedbu, dok za druge ispitanike nisu bile dovoljno izazovne. To su faktori koji su se mogli izbjeći odabirom manjeg broja vježbi koje bi bile svima jednako izazovne pa bi vjerojatno došlo do drugačijih rezultata. Odabir adekvatne obuće te pripremljene podloge

zasigurno bi utjecao na izvedbu skoka u dalj s mjesta što bi moglo utjecati na konačne rezultate.

Dobiveni rezultati su veoma pozitivni te se može tvrditi da će doći do akutnog poboljšanja skoka u vidu povećanja dužine skoka u dalj s mjesta nakon vježbi propriocepcije. Opet s druge strane nema dovoljno istraživanja na ovu tematiku kako bi mogli sa sigurnošću tvrditi da je takva metoda opravdana. Veći broj ispitanika i provjerena metoda proprioceptivnog treninga vjerojatno bi dala sigurnije i kvalitetnije rezultate.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju kako je akutni utjecaj proprioceptivnih vježbi na dužinu skoka u dalj s mjesta statistički značajan što potvrđuje razlika dužine skoka u dalj s mjesta prije i poslije provedenih vježbi. Skoro su svi ispitanici skočili dalje nakon proprioceptivnih vježbi čime objektivno možemo tvrditi da proprioceptivne vježbe imaju akutni utjecaj na dužinu skoka u dalj s mjesta. Povećanje dužine skoka u dalj s mjesta može se objasniti povećanom mišićnom aktivacijom koju smo postigli prilikom izvoženja određenih vježbi na nestabilnim podlogama što je u konačnici rezultiralo povećanom mišićnom kontrakcijom neposredno prije izvođenja skoka. Ujedno, izvođenje proprioceptivnih vježbi moglo je promijeniti osjetljivost mišićnog vretena, točnije brzinu aktiviranja primarnih aferenata čime smo mogli dobiti bolju proprioceptivnu kontrolu koja je potencijalno utjecala na izvedbu skoka. Iako su ovi rezultati prikazali da je razlika između skoka u dalj prije i poslije proprioceptivnih vježbi statistički značajna ne možemo sa sigurnošću tvrditi da će to vrijediti za sve slučajeve. Nedovoljno utemeljen odabir i intenzitet vježbi kao i nedovoljan broj ispitanika predstavljaju ograničenja koja su zasigurno utjecala na ishod trenutnih rezultata. Kako bi istraživanje bilo transparentno odabir i intenzitet vježbi trebao bi se postaviti tako da imamo što uravnoteženiji utjecaj na svakog ispitanika. Također, vježbe moraju biti postavljene na način da ispitanici nisu prethodno upoznati s njima što bi dalo objektivnije rezultate. Pored ostalog kontrolirani uvjeti izvoženja i veći broj ispitanika predstavljaju uvjete za postizanje što relevantnijih rezultata.

7. LITERATURA

1. Paillard T, Pau M, Noé F, González LM. Rehabilitation and Improvement of the Postural Function. *Biomed Res Int*. [Internet]. 2015;2015(1):1-2. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/703679/>
2. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train*. [Internet]. 2002;37(1):71-79. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC164311/>
3. Yu N. Effect of Ankle Proprioception Training on Preventing Ankle Injury of Martial Arts. *Athletes. Biomed Res Int*. [Internet]. 2022;2022:1-9. [pristupljeno 15.6.2023.]. Dostupno na: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2022/8867724/>
4. Riva D, Bianchi R, Rocca F, Mamo C. Proprioceptive Training and Injury Prevention in a Professional Men's Basketball Team: A Six-Year Prospective Study. *J Strength Cond Res*. [Internet]. 2016;30(2):461-475. [pristupljeno 15.6.2023.]. Dostupno na: https://journals.lww.com/nscajscr/Fulltext/2016/02000/Proprioceptive_Training_and_Injury_Prevention_in_a.22.aspx
5. Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y. The Role of Ankle Proprioception for Balance Control in relation to Sports Performance and Injury. *Biomed Res Int*. [Internet]. 2015;2015:1-8. [pristupljeno 15.6.2023.]. Dostupno na: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/842804/>
6. Han J, Anson J, Waddington G, Adams R, Liu Y. "Sport attainment and proprioception," *International Journal of Sports Science and Coaching*. [Internet]. 2014;9(1):159–170. [pristupljeno 15.6.2023.]. Dostupno na: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1260/1747-9541.9.1.159>
7. Janega M. Utjecaj antropometrijskih karakteristika na izvođenje skoka u dalj s mjesta [završni rad]. [Zagreb]: Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. [Internet]. 2018.3-12. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:147:157960>
8. Šalaj SŠ, Milanović D, Jukić I. The effects of proprioceptive training on jumping and agility performance. *Kinesiology*. [Internet]. 2007;39(2):131-141. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/34524>
9. Romero-Franco N, Martínez-López EJ, Lomas-Vega R, Hita-Contreras F, Osuna-Pérez MC, Martínez-Amat A. Short-term effects of proprioceptive training with unstable platform on athletes' stabilometry. *J Strength Cond Res*. [Internet].

- 2013;27(8):2189-2197. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na:
https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2013/08000/Short_term_Effects_of_Proprioceptive_Training_With.19.aspx
10. Anderson KG, Behm DG. Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J Strength Cond Res.* [Internet]. 2004;18(3):637-640. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na:
https://www.researchgate.net/publication/8390730_Maintenance_of_EMG_Activity_and_Loss_of_Force_Output_With_Instability
11. Conceição A, Fernandes O, Baia M, Parraca JA, Gonçalves B, Batalha N. Changes in Muscular Activity in Different Stable and Unstable Conditions on Aquatic Platforms. *Biology.* [Internet]. 2022;11(11):1-10. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na:
<https://www.mdpi.com/2079-7737/11/11/1643>
12. Ashton-Miller JA, Wojtys EM, Huston LJ, Fry-Welch D. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* [Internet]. 2001;9(3):128-136. [pristupljeno 15.6.2023.]. Dostupno na:
<https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/41912>
13. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, udruga kondicijskih trenera Hrvatske, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH, studentski zbor Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. [Internet] Kondicijska priprema sportaša; 2015. Poglavlje 3, Efekti različitih protokola zagrijavanja na sposobnost održavanja ravnoteže kod rukometašica; str. 188-196. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na:
https://www.researchgate.net/profile/Haris-Pojksic/publication/273353323_EFFECTS_OF_DIFFERENT_WARM-UP_PROTOCOLS_ON_DYNAMIC_BALANCE_IN_FEMALE_HANDBALL_PLAYERS_In_Croatian/links/54ff0fcb0cf2672e2241174b/EFFECTS-OF-DIFFERENT-WARM-UP-PROTOCOLS-ON-DYNAMIC-BALANCE-IN-FEMALE-HANDBALL-PLAYERS-In-Croatian.pdf
14. Hammami R, Chaabene H, Kharrat F, Werfelli H, Duncan M, Rebai H, Granacher U. Acute effects of different balance exercise types on selected measures of physical fitness in youth female volleyball players. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* [Internet] 2021;13(1):29. [pristupljeno 10.2.2023.]. Dostupno na:
<https://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13102-021-00249-5>

15. Provčín M. Trening propriocepcije u cilju prevencije padova, smanjenja broja i težine ozljeda kod starije populacije [završni rad]. [Zagreb]: Kineziološki fakultet u Zagrebu. [Internet]. 2016; 14-16. [pristupljeno 12.7.2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:320608>
16. McCaskey MA, Schuster-Amft C, Wirth B, Suica Z, de Bruin ED. Effects of proprioceptive exercises on pain and function in chronic neck- and low back pain rehabilitation: a systematic literature review. BMC Musculoskelet Disord.[Internet]. 2014 19;15(382): 1-17. [pristupljeno 12.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4247630/>
17. Schiffan GS, Ross LA, Hahne AJ. The effectiveness of proprioceptive training in preventing ankle sprains in sporting populations: a systematic review and meta-analysis. J Sci Med Sport. [Internet]. 2015;18(3):238-244. [pristupljeno 12.7.2023.]. Dostupno na: [https://www.jsams.org/article/S1440-2440\(14\)00074-7/fulltext](https://www.jsams.org/article/S1440-2440(14)00074-7/fulltext)
18. Hrvatska enciklopedija Ravnoteža tijela. (mrežne stranice). Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. [Pristupljeno 20. 7. 2023.]. Dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52005>
19. Wilkinson KA, Kloefkorn HE, Hochman S. Characterization of muscle spindle afferents in the adult mouse using an in vitro muscle-nerve preparation. PLoS One.[Internet]. 2012;7(6):1-9. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3380032/>
20. Kröger S, Watkins B. Muscle spindle function in healthy and diseased muscle. Skelet Muscle.[Internet]. 2021;11(3):1-13. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://skeletalmusclejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13395-020-00258-x>
21. Moon KM, Kim J, Seong Y, Suh BC, Kang K, Choe HK, Kim K. Proprioception, theregulator of motor function. BMB Rep. [Internet]. 2021;54(8):393-402. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8411041/>
22. Oliver KM, Florez-Paz DM, Badea TC, Mentis GZ, Menon V, de Nooij JC. Molecular correlates of muscle spindle and Golgi tendon organ afferents. Nat Commun.[Internet]. 2021;12(1):1.19. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7977083/>

23. Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev.*[Internet]. 2012;92(4):1651-1697. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00048.2011?rfr_dat=cr_pub+_0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org
24. Aman JE, Elangovan N, Yeh IL, Konczak J. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. *Frontiers in human neuroscience.* [Internet]. 2015;8(1075): 1-18. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.01075/full>
25. Rosenkranz K, Butler K, Williamon A, Cordivari C, Lees AJ, Rothwell JC. Sensorimotor reorganization by proprioceptive training in musician's dystonia and writer's cramp. *Neurology.* [Internet]. 2008;70(4):304-315. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://n.neurology.org/content/70/4/304>
26. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *Sports Med.* [Internet].2011;41(3):221-232. [pristupljeno 20.7.2023.]. Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.2165/11538560-000000000-00000>
27. Kohler JM, Flanagan SP, Whiting WC. Muscle activation patterns while lifting stable and unstable loads on stable and unstable surfaces. *J Strength Cond Res.* [Internet]. 2010;24(2):313-321. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/2010/02000/muscle_activation_patterns_while_lifting_stable.4.aspx
28. Taube W, Kullmann N, Leukel C, Kurz O, Amtage F, Gollhofer A. Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med.* [Internet]. 2007;28(12):999-1005. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2007-964996>
29. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. *J Athl Train.* [Internet]. 2010;45(4):392-403. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2902034/>
30. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Hewett TE. The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes. *J Strength Cond Res.* [Internet]. 2006;20(2):445–455. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na:

https://www.researchgate.net/publication/7485038_The_effects_of_plyometric_vs_dynamic_stabilization_and_balance_training_on_lower_extremity_biomechanics

31. Gollhofer A. Proprioceptive training: considerations for strength and power production. Strength and power in sport [Internet]. 2003; 1(2):331-342. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/228038740_Proprioceptive_Training_Considerations_for_Strength_and_Power_Production
32. Tropp H, Ekstrand J, Gillquist J. Stabilometry in functional instability of the ankle and its value in predicting injury. Med Sci Sports Exerc.[Internet]. 1984;16(1):64-66. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: https://journals.lww.com/acsm-msse/abstract/1984/01000/stabilometry_in_functional_instability_of_the.13.aspx
33. Watson AW. Ankle sprains in players of the field-games Gaelic football and hurling. J Sports Med Phys Fitness [Internet]. 1999;39(1):66-70. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10230172/>
34. Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. Br J Sports Med. [Internet]. 2008;42(6):472-476. [pristupljeno 30.7.2023.]. Dostupno na: <https://bjsm.bmj.com/content/42/6/472.long>
35. Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, Docherty CL. Balance- and Strength-Training Protocols to Improve Chronic Ankle Instability Deficits, Part I: Assessing Clinical Outcome Measures. J Athl Train. [Internet]. 2018;53(6):568-577. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6089027/>
36. Cain MS, Ban RJ, Chen YP, Geil MD, Goerger BM, Linens SW. Four-Week Ankle-Rehabilitation Programs in Adolescent Athletes With Chronic Ankle Instability. J Athl Train. [Internet]. 2020;55(8):801-810. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7462179/>
37. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, Doral MN. Effects on Lower Extremity Neuromuscular Control Exercises on Knee Proprioception, Muscle Strength, and Functional Level in Patients with ACL Reconstruction. Biomed Res Int. [Internet]. 2019;1-9. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6881759/>
38. Cimino F, Volk BS, Setter D. Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention. Am Fam Physician [Internet]. 2010;82(8):917-922. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2010/1015/p917.html>

39. Thomas E, Battaglia G, Patti A, Brusa J, Leonardi V, Palma A, Bellafiore M. Physical activity programs for balance and fall prevention in elderly: A systematic review. *Medicine (Baltimore)* [Internet]. 2019;98(27):1-9. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6635278/>
40. Hospod V, Aimonetti JM, Roll JP, Ribot-Ciscar E. Changes in human muscle spindle sensitivity during a proprioceptive attention task. *J Neurosci* [Internet]. 2007;27(19):5172-5178. [pristupljeno 1.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6672388/>
41. Albert F, Ribot-Ciscar E, Fiocchi M, Bergenheim M, Roll JP. Proprioceptive feedback in humans expresses motor invariants during writing. *Exp Brain Res.* [Internet]. 2005;164(2):242-249. [pristupljeno 3.8.2023.]. Dostupno na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-005-2246-5>
42. Ribot-Ciscar E, Ackerley R. Muscle proprioceptive feedback can be adapted to the behavioral and emotional context in humans. *Curr Opin Physiology* [Internet]. 2021; 20:46–51. [pristupljeno 3.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468867320301644>
43. Ackerley R, Samain-Aupic L, Ribot-Ciscar E. Passive Proprioceptive Training Alters the Sensitivity of Muscle Spindles to Imposed Movements. *eNeuro* [Internet]. 2022;9(1):1-11. [pristupljeno 3.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8805769/>
44. Wilson LR, Gandevia SC, Burke D. Discharge of human muscle spindle afferents innervating ankle dorsiflexors during target isometric contractions. *J Physiol.* [Internet]. 1997;504(1):221-232. [pristupljeno 3.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1159950/>
45. Hulliger M, Nordh E, Vallbo AB. Discharge in muscle spindle afferents related to direction of slow precision movements in man. *J Physiol.* [Internet]. 1985;:437-453. [pristupljeno 3.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1192906/>
46. Kakuda N, Nagaoka M. Dynamic response of human muscle spindle afferents to stretch during voluntary contraction. *J Physiol.* [Internet]. 1998;621-628. [pristupljeno 5.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2231301/b>
47. Jones KE, Wessberg J, Vallbo AB. Directional tuning of human forearm muscle afferents during voluntary wrist movements. *J Physiol.* [Internet] 15;536:635-647.

- [pristupljeno 5.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2278883/>
48. Voigt M, Dyhre-Poulsen P, Simonsen EB. Modulation of short latency stretch reflexes during human hopping. *Acta Physiol Scand.* [Internet]. 1998;163(2):181-194. [pristupljeno 5.8.2023.]. Dostupno na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-201X.1998.00351.x>
49. Dimitriou M. Human muscle spindles are wired to function as controllable signal-processing devices. *Elife.* [Internet]. 2022:1–14. [pristupljeno 5.8.2023.]. Dostupno na: <https://elifesciences.org/articles/78091>
50. Neilson PD. Interaction between voluntary contraction and tonic stretch reflex transmission in normal and spastic patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [Internet]. 1972;35(6):853-860. [pristupljeno 6.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC494192/>
51. Vahdat S, Darainy M, Ostry DJ. Structure of plasticity in human sensory and motor networks due to perceptual learning. *J Neurosci.*[Internet] 2014;34(7):2451-2463. [pristupljeno 6.8.2023.]. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3921420/>
52. Janega M. Utjecaj antropometrijskih karakteristika na izvođenje skoka u dalj s mjesta [završni rad]. [Zagreb]: Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. [Internet] 2018. 3-12. [pristupljeno 6.8.2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:147:157960>
53. Antekolović Lj, Kasović M, Marelić N. BIOMEHANIČKO VREDNOVANJE DUBINSKIH SKOKOVA U PRIPREMI SKAKAČA U DALJ. *Hrvatski športsko medicinski vjesnik* [Internet]. 2006;21(1):12-19. [pristupljeno 6.08.2023.]; Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/4417>
54. Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol.*[Internet].2005;30(1):33-45. [pristupljeno 6.08.2023.]. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/7881749_Trunk_Muscle_Activity_Increases_With_Unstable_Squat_Movements

8. PRIVITCI

8.1. *Popis tablica*

Tablica 1. Rezultati dužine skoka u dalj s mjesta prije i poslije proprioceptivnih vježbi, uključujući sve muškarce (M) i žene (Ž) iz obje sportsko „aktivne“ i „sportsko neaktivne grupe“ 35

Tablica 2. Rezultati dužine skoka u dalj s mjesta kod „sportsko aktivne“ i „sportsko neaktivne“ grupe 36

8.2. *Popis slika*

Slika 1. Prikaz pomagala korištenih u vježbama propriocepcije..... 10

Slika 2. Shematski prikaz osjetne i fuziomotorne inervacije intrafuzalnih vlakana 11

Slika 3. Prikaz odgovora mišićnog vretena na istežanje. 12

Slika 4. Prikaz Golgijevog tetivnog organa 14

Slika 5. Prikaz osjetnih organa: zglobni receptori (Ruffinijeva i Pacinijeva tjelešca). 15

Slika 6. Proprioceptivna metoda procjene gležnja. 18

Slika 7. Primjer odgovora na pojačanje prilikom plantarne fleksije. 20

Slika 8. Prikaz povećane varijabilnosti trenutne frekvencije aferenata tip Ia tijekom faze prepoznavanja u usporedbi s kontrolnom fazom iz m. extensor digitorum longus prilikom pisanja slova „u“ 21

Slika 9. Prikaz grafa koji pokazuje smanjenje nesigurnosti prilikom procjene položaja zgloba nakon pasivnog proprioceptivnog treninga. 22

Slika 10. Prikaz podataka o amplitudi (minimalno – maksimalno pražnjenje izvedeno iz prilagođene kosinusne krivulje za sva kretanja) iz sedam Ia aferenata prikazani su za dinamički indeks (A) i statički indeks (B). 24

Slika 11. Prikazane su natprosječne trenutne brzine paljenja triju primarnih aferenta (A-C) i sekundarnog aferenta (D)..... 25

Slika 12. Prikaz promjene povezanosti primarnih somatosenzornih područja u odnosu na promjenu motoričke izvedbe..... 29

9. ŽIVOTOPIS

Toni Pavlešić

Osobni podaci

Datum rođenja: 25/08/2001

Spol: Muško

Državljanstvo: hrvatsko

Obrazovanje i osposobljavanje

Fakultet zdravstvenih studija u Rijeci

Preddiplomski stručni studij fizioterapija

2020 – Trenutačno, Rijeka (Hrvatska)

Salezijanska klasična gimnazija

Opći smjer za sportaše

2016 – 2020, Rijeka

Radno iskustvo

Skladišni radnik

Trgovina Krk

2017-2020, sezonski rad

Punat , Hrvatska

Trener plivanja

Plivački klub Primorje

2020 – trenutno

Spasilac

Hilton Rijeka - Hilton Hotels Corporation

01/07/2022 – trenutno

Sezonski rad preko ljeta.

Instruktor fitnesa

Hilton Rijeka - Hilton Hotels Corporation

08/02/2023 – 06/2023 Rijeka , Hrvatsk

Fizioterapeut

HNK Orijent; 01/08/2021 – 01/09/2021

Drugi jezici

Engleski jezik

Njemački jezik

Vozačka dozvola

AM

B

Komunikacijske vještine

Rad u timu

Digitalne vještine

Poznavanje MS Office programa

Ostale vještine

Položen tečaj za spasioca (2022.) - Hrvatski Crveni križ