

# AKUTNI UTJECAJ VJEŽBI BALANSA NA VERTIKALNI SKOK

---

**Pandurević, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:184:147728>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-27**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ FIZIOTERAPIJE

Luka Pandurević

AKUTNI UTJECAJ VJEŽBI BALANSA NA VERTIKALNI SKOK

Završni rad

Rijeka, 2021.

UNIVERSITY OF RIJEKA  
FACULTY OF HEALTH STUDIES  
GRADUATE UNIVERSITY STUDY OF PHYSOTHERAPY

Luka Pandurević

ACUTE EFFECT OF BALANCE EXERCISES ON VERTICAL JUMP

Final work

Rijeka, 2021.

Mentor rada: Dr. sc. Hrvoje Vlahović, prof. reh.

Završni rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci pred  
povjerenstvom u sastavu:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	1
ABSTRACT .....	2
1. UVOD .....	3
2. TRENING BALANSA .....	5
2.1. Funkcionalne adaptacije povezane s treningom balansa .....	6
2.1.1. Motoričke sposobnosti .....	6
2.1.2. Prevencija ozljeda i rehabilitacija.....	7
2.2. Neuralne adaptacije povezane s treningom balansa .....	7
2.2.1. Spinalne adaptacije.....	7
2.2.1.1. Tehnike mjerenja spinalnih adaptacija.....	8
2.2.1.2. Trenutna modulacija refleksa.....	9
2.2.1.3. Učinci kratkoročnog i dugoročnog treninga na spinalni refleks .....	10
2.2.1.4. Adaptacije refleksa tijekom specifičnih zadataka .....	10
2.2.1.5. Refleksne adaptacije kod starijih ljudi .....	11
2.2.1.6. Živčani mehanizmi koji utječu na refleksno ponašanje .....	12
2.2.2. Supraspinalne adaptacije .....	13
2.2.2.1. Tehnike mjerenja supraspinalnih adaptacija .....	13
2.2.2.2. Kortikalni doprinos kontroli balansa.....	17
2.2.2.3. Kortikalne adaptacije koje prate trening balansa .....	18
2.2.2.4. Supraspinalne adaptacije tijekom specifičnih zadataka .....	19
2.2.2.5. Indikacije za subkortikalnu plastičnost .....	20
3. VERTIKALNI SKOK.....	22
3.1. Mjerenje.....	22

3.2. Maksimalni vertikalni skok .....	23
4. BIOSWING POSTUROMED.....	25
4.1. Učinak.....	25
4.2. Modeli.....	25
4.3. Dodatni moduli .....	26
5. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE .....	28
6. METODE.....	28
6.1. Ispitanici .....	28
6.2. Protokol.....	28
6.3. Statistika .....	30
7. REZULTATI.....	31
8. RASPRAVA .....	33
9. ZAKLJUČAK .....	35
LITERATURA.....	36
PRILOZI.....	42
KRATKI ŽIVOTOPIS .....	43

## SAŽETAK

Uobičajeno, vježbe balansa su se koristile u rehabilitaciji ozljeda zglobova i kod posturalnih deficita. Danas se, osim u svrhu rehabilitacije i prevencije, koristi za poboljšanje performansi sportaša, pogotovo mišićne snage. Cilj ovog rada bio je istražiti utječu li vježbe balansa odmah nakon njihove primjene na vertikalni skok, u smislu poboljšanja ili suprotno. Koncept istraživanja sastojao se od zagrijavanja, vertikalnog skoka, vježbi balansa te ponovnog vertikalnog skoka, tim redosljedom. Uzorak se sastojao od 24 zdrava ispitanika između 18 i 22 godine koji se bave nekom aktivnošću najmanje 3 puta tjedno. Šest ispitanika bilo je u kontrolnoj grupi, 10 ispitanika u grupi koja je radila vježbe balansa ukupno 4 minute i osam ispitanika u grupi koja je vježbe balansa radila ukupno 8 minuta. Visina dosega vertikalnog skoka mjerila se na centimetarskoj vrpici (cm) dosegom ruke što je snimljeno usporenom snimkom te su rezultati obrađeni statističkim računicama. Rezultati pokazuju da razlika između visine vertikalnog skoka prije i nakon vježbi balansa nije značajna. Usporedba pojedinačnih rezultata je mješovita, sa poboljšanjima u skoku i suprotno, ali širina uzorka nije dovoljna da se rezultat smatra statistički značajnim. Fiziološka shvaćanja mogu do jedne granice objasniti različitost rezultata, no za statističku značajnost i razumijevanje o ovoj širokoj temi potrebno je još kvalitetnijih i metodički bolje napravljenih istraživanja.

Ključne riječi: balans, vertikalni skok, neurofiziološka adaptacija, stopa produkcije sile

## **ABSTRACT**

Usually, balance exercises have been used in the rehabilitation of joint injuries and in postural deficits. Today, except for the purpose of rehabilitation and prevention, it is used to improve performance of athletes, especially muscle strength. The aim of this study was to investigate whether balance exercises immediately after their application affect the vertical jump, in terms of improvement or vice versa. The research concept consisted of warming up, vertical jump, balance exercises, and again vertical jump, respectively. The testing sample consisted of 24 healthy subjects between 18 and 22 years of age engaged in some activity at least 3 times a week. Six subjects were in the control group, 10 subjects in the group doing balance exercises for a total of 4 minutes, and eight subjects in the group doing balance exercises for a total of 8 minutes. The height of the vertical jump range was measured on a centimeter tape (cm) with the reach of the hand, which was recorded in slow motion, and the results were processed by statistical calculations. The results show that the difference between the height of the vertical jump before and after the balance exercises is not significant. The comparison of individual results is mixed, with improvements in the jump and vice versa, but the width of the sample is not sufficient for the result to be considered statistically significant. Physiological understandings can explain the diversity of results to some extent, but for statistical significance and understanding of this broad topic, more quality and methodologically better research is needed.

Key words: balance, vertical jump, neurophysiological adaptations, rate of force development



## 1. UVOD

Balans je proces održavanja položaja centra težišta tijela okomito na bazu potpore i zasniva se na brzim, kontinuiranim povratim informacijama vizualnih, vestibularnih i senzomotornih struktura nakon čega slijedi izvršavanje kontroliranih i koordiniranih neuromuskularnih radnji. (1) Odnos između sposobnosti balansa i rizika od ozljeda u sportu utvrđen je mnogim studijama, ali odnos između sposobnosti balansa i sportskih performansa manje je jasan. Istraživanja su pokazala da bi sustavni trening balansa u programu vježbanja bio učinkovit u smanjenju rizika od ozljeda.(2,3) Uočeno je da se, kada se tijekom natjecateljske sezone provodio trening balansa, stopa ozljeda smanjila za 38%. (4)

Posljednjih godina trening balansa postao je vrlo popularan dodatak standardnijem programu atletskog treninga u mnogim sportovima. Na primjer, košarka zahtijeva od igrača da budu uključeni u fizički kontakt i razne situacije koje uključuju nestabilnost, poput ubrzanja i usporavanja specifičnih za košarku, promjena smjera, driblinga i čuvanja obrambene pozicije. Te se radnje često izvode u vrlo ograničenom prostoru i zahtijevaju vrlo brzo kretanje, visoku sposobnost koordinacije i odgovarajuću snagu. (5)

Konkretno, vertikalni skok jedna je od najčešće ponavljanih radnji. Među vertikalnim skokovima skok u suprotnom smjeru („Countermovement jump“ - CMJ) vještina je u košarci, a također i tehnika koja se najčešće koristi kao test procjene fizičkog stanja donjih udova. (6)

Većina radova koja je napravljena istražuju utjecaj vježbi balansa na odabrane sportske performanse kroz 4 do 6 tjedana (u nekim slučajevima i više) provođenja vježbi. Baccolini i sur. dokazali su da nakon 12 tjedana provođenja vježbi balansa kod mladih košarkaša balans i mišićna snaga mjerena kroz vertikalni skok su značajno poboljšani.(5) Heitkamp i sur. u jednom istraživanju provodili su vježbe balansa 6 tjedana u kojih je bilo ubrojeno 12 treninga po 25 minuta. Sam utjecaj vježbi balansa bio je uspoređen s kontrolnom grupom koja radila trening jakosti. Mišićna snaga je testirana na izokinetičkoj spravi i u obje grupe zabilježen je porast u mišićnoj snazi, dok je balans poboljšán samo u grupi koja je radila vježbe balansa. Osim što su rezultati pokazali da je trening balansa koristan za povećanje mišićne snage i balansa, ispravljanje mišićnih disbalansa može biti postignuto također. (7) Kean i sur. napravili su istraživanje gdje su provodili vježbe balansa četiri puta tjedno kroz 6 tjedan s fiksiranim stopalom i gornjim nožnim zglobovom. Rezultati su pokazali 33%-tno poboljšanje u statičkom balansu i 9%-tno poboljšanje u vertikalnom

skoku te značajan porast aktivnosti m. rectusa femoris (RF) pri doskoku, a 33% povećane aktivnosti RF u reaktivnim aktivnostima (CMJ). (8) Ti rezultati mogu se povezati sa zaključkom Grubera i sur. gdje je primijećen porast u stopi razvoja sile („rate of force development“ – RFD) mišića koji djeluju u koljenu, primarno ekstenzora, kad je gornji nožni zglob bio imobiliziran skijaškom čizmom. (9) Suprotno, kada su gornji nožni zglob i stopalo bili slobodan, tj. neimobilizirani tijekom treninga, adaptacije u plantarnim fleksorima stopala bile su uočene. (10)

Iako još uvijek nepoznato, pretpostavlja se kako se uzrok poboljšanja ovih parametara nalazi u neurofiziološkoj adaptaciji. U nekoliko je istraživanja uočeno da je uz poboljšanje balansa prisutno sniženje H-refleksa (slično spinalnom refleksu) nakon nekoliko tjedana treninga balansa. (11,12) Trening balansa ne mijenja ponašanje spinalnog refleksa direktno, već čini se poboljšava sposobnost da se pronađu „prave postavke refleksa“ za određena posturalna stanja. Drugim riječima, trening balansa poboljšava modulaciju refleksa u specifičnim zadacima. (13)

Schubert i sur. primijetili su promjene u ekscitabilnosti izravnih kortikospinalnih putova nakon treninga ravnoteže. Nakon treninga, kortikalna ekscitabilnost smanjena je tijekom izvršavanja posturalnog zadatka. Međutim, kada su ispitanici trenirani vježbama balansa izmjereni u voljnom zadatku eksplozivnom snage gdje su aktivirani isti mišići, bila je vidljiva pojačana kortikalna podražljivost. U zadatku proizvodnje snage, dinamički moment dorzalne fleksije primijenjen je na oba stopala ergometrom za gležanj, a ispitanicima je rečeno da se suprotstave ovom pokretu što je ranije i jače moguće. Poboljšana proizvodnja eksplozivne sile može stoga biti uzrokovana pojačanom kortikalnom ekscitacijom na agonističke mišiće. Može se nagađati da je (sinaptička) učinkovitost izravnih kortikospinalnih projekcija na mišiće koji prelaze zglob povećana treningom ravnoteže i da se može iskoristiti u voljnoj kontrakciji. (14)

Radova koji istražuju akutni utjecaj balansa i koje se adaptacije događaju istog trenutka kada se tijelo postavi u neravnotežni položaj je manje. Llewellyn i suradnici pokazali su na ljudima da promjene na površini po kojoj se hoda utječu na obradu spinalnog refleksa. U svom su eksperimentu tražili od ispitanika da ili hodaju po zemlji ili preko male gimnastičke grede. Čim su ispitanici morali obaviti izazovniji zadatak hoda preko grede, uočene su smanjene reakcije H-refleksa. (15) S tim rezultatima je i dobivena ideja za ovaj istraživački rad.

## 2. TRENING BALANSA

Za razliku od svih ostalih sisavaca, ljudi održavaju dvonožni stav i hod kao njihovo normalno držanje i kretanje. Kao posljedica toga, ljudi trebaju uravnotežiti više segmenata s visokim središtem mase preko male baze oslonca. Djeci je potrebno 7 ili više godina za stjecanje obrasca upravljanja ravnotežom poput odraslih. To znači da svi proživljavaju neku vrstu treninga „balansa“ ili „posturalnog“ treninga kao dio normalnog razvoja tijekom djetinjstva. Iako se najveća poboljšanja odvijaju tijekom djetinjstva, sposobnost prilagodbe posturalne kontrole očuvana je u odraslih i starijih osoba.(11)

Konkretno, izloženost nestabilnim površinama pokazale su se korisnima u posturalnom treningu. Nažalost, ne postoji dosljedan izraz za sažeti vježbe ravnoteže kojima je cilj poboljšanje posturalne stabilnosti. Neki autori to nazivaju „trening balansa“ (7,16), dok ga drugi nazivaju 'senzomotorni trening' (9,17) „neuromuskularni trening“ (18) ili „proprioceptivni trening“ (19). Izraz proprioceptivni trening je pogrešno ograničen na percepciju aferentnog puta i ne uzima u obzir adaptacije na motoričkoj strani (20). Neuromuskularni i senzomotorički trening toliko je širok, da se mnoge vrste vježbanja mogu opisati u smislu neuromuskularnog ili senzomotoričkog zadataka. Trening balansa (ravnoteže) čini se najprikladnijim jer se odnosi na vježbe za ravnotežu s primarnom namjerom poboljšanja ravnoteže. To znači da pojam „trening balansa“ ne obuhvaća specifične biološke strukture, koje se mogu prilagoditi kao odgovor na trening, već opisuje napredak u izvođenju određene vještine. Potencijalno, trening balansa potiče prilagodbe u svim senzornim sustavima koji pomažu posturalnoj kontroli, kao što su vestibularni, vizualni i somatosenzorni sustav kao i u motornim sustavima koji upravljaju mišićnom snagom.(11)

Vježbe i zadaci uklopljeni u trening balansa mogu uvelike varirati. U većini predstavljenih studija, ispitanici su vježbali na različitim rekvizitima za vježbanje (npr. nestabilne ploče, nagib daske, bosu lopte, gumeni balansni jastuci itd.). Zasad ne postoje znanstvene smjernice koje prikazuju optimalno trajanje i intenzitet ovih vježbi i stoga postoje velike razlike u tim parametrima između istraživanja.



**Slika 1.** Prikaz različitih rekvizita korištenih za vježbe balansa u nekim studijama.(9,10,12,14)  
Preuzeto s: <https://www.powerhouse-fitness.co.uk>

Suprotno mnogim drugim intervencijama na treningu, vježbe balansa mogu provoditi sportaši, djeca, starije osobe i osobe s invaliditetom. Dakle, trening balansa je korisno sredstvo koje potiče prilagodbe u više ciljnih skupina.(11)

## *2.1. Funkcionalne adaptacije povezane s treningom balansa*

### *2.1.1. Motoričke sposobnosti*

Freeman i sur. znanstveno su pokazali da je trening balansa imao pozitivan učinak na sposobnost kontrole uspravnog držanja kod osoba s ozljedama ligamenata stopala i gležnja. Mnogo prije toga Tai Chi se smatrao da uspostavlja unutarnji (mentalni) i vanjski balans i izumljen je u Kini još u 14. stoljeću. U Europi su umjetnici demonstrirali vrlo dobro razvijene vještine držanja ravnoteže na tankom užetu prije otprilike 100 godina. Posljednjih godina, znanstvene studije su potvrdile da je posturalna kontrola vrlo prilagodljiva i može biti poboljšana kroz trening balansa kod djece, odraslih, starijih ljudi kao i kod pacijenata i elitnih sportaša.(8,10,12,21) Kako posturalna kontrola čini ograničavajući faktor za mnoge svakodnevne aktivnosti i razne tjelesne vježbe, trening posturalne kontrole može izravno utjecati na izvedbu u tim aktivnostima.(11)

Iako, korist od treninga balansa nije ograničena samo na izvršavanje posturalnih zadataka. Nedavne studije su pokazale da vježbe za ravnotežu rezultiraju poboljšanom snagom i skakačkim sposobnostima.(8,10,12,21) Trening ravnoteže je najučinkovitije utjecao na maksimalnu stopu razvoja sile.(9,10,22) U netreniranih ili ozlijeđenih ispitanika trening balansa je također povećao maksimalnu voljnu jakost. (8,11,23) Vrlo relevantno s funkcionalnog stajališta je zapažanje da trening balansa rezultira poboljšanim vertikalni skokom.(8,12) Kako trening balansa opterećuje

tetivnomišićni sustav marginalno, ovi učinci treninga mogu biti posebno korisni za djecu u puberteta i sportaše koji se suočavaju s rizikom od preopterećenja ili ozljeda prenaprezanja.(11)

### *2.1.2. Prevencija ozljeda i rehabilitacija*

Trening balansa može se provesti kao profilaktička intervencija za svakodnevne aktivnosti i u sportskim disciplinama u kojima je gubitak posturalne kontrole faktor rizika. Preventivni aspekt treninga balansa prikazan je u raznim prospektivnim studijama koje istražuju timske sportove poput rukometa (24–26), nogometa (27), košarke (27) i odbojke (28).

Trening balansa također može spriječiti ozljede kod starijih osoba. Dobi narušena posturalna kontrola, koja prati povećani rizik od pada, pripisuje se pogoršanjima i osjetilnih i motoričkih sustava.(29) Primjerice, s povećanjem dobi povezana je mišićna slabost, smanjeni kožni osjet, smanjena brzina provođenja impulsa, smanjena propriocepcija i smanjenje djelotvornih kortikomotornih neurona.(11) Programi treninga mogu se suprotstaviti tim čimbenicima rizika i uspostaviti kontrolu ravnoteže u starijih ljudi.(30) Iako su mnoge od ovih studija pokazale poboljšanje posturalne kontrole nakon treninga balansa, nije moguće pripisati ove učinke samo treningu balansa jer je većina studija sadržavala kombinaciju treninga balansa i snage kao i medicinskog liječenja, odnosno liječenja medikamentima.(31) Slično tome, prospektivne studije nisu se samo usredotočile na učinak treninga balansa.(32) Pozitivan ishod treninga (npr. smanjenje padova), u tim studijama, se stoga ne može pripisati direktno vježbama za ravnotežu.

Osim potencijala za prevenciju ozljeda, trening balansa poboljšava regeneraciju živčano-mišićnih strukture nakon ozljede i djelotvorno sprečava pojavu ponovne ozljede.(11) U bolesnika s moždanim udarom i kod osoba s vestibularnom disfunkcijom, poboljšana je posturalna kontrola nakon sudjelovanja u rehabilitacijskim programima koji su uključivali vježbe za ravnotežu.(11)

## *2.2. Neuralne adaptacije povezane s treningom balansa*

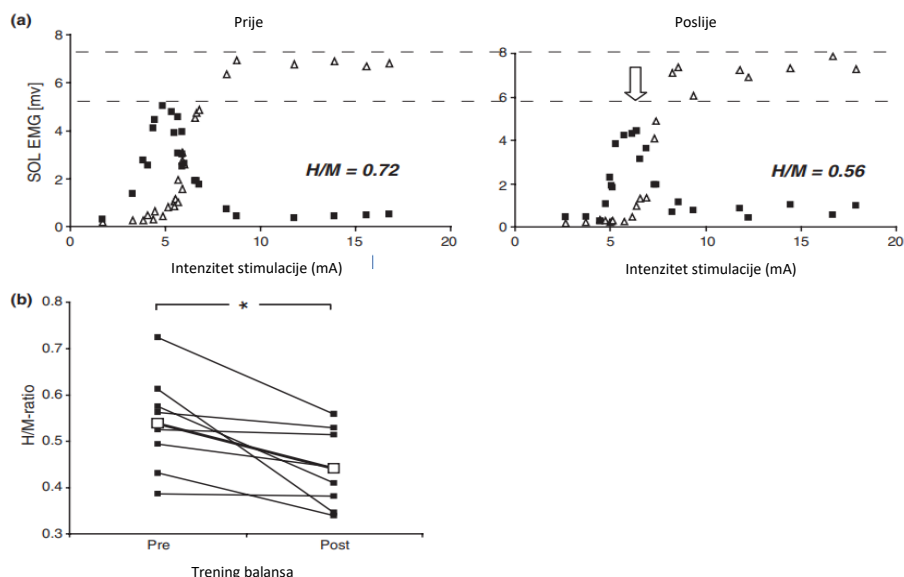
### *2.2.1. Spinalne adaptacije*

Smatra se da spinalni refleksni sustav igra važnu ulogu u kontroli neometanog stava, kao i tijekom kompenzacijske reakcije koja slijedi ometanje posturalne kontrole.(33,34) U nastavku

ovog rada prvo su objašnjene tehnike za procjenu spinalnog doprinosa tijekom izvođenja vježbi balansa te zatim prikazani dokazi za prilagodljivost spinalnih struktura kao odgovor na posturalne zahtjeve i trening.

### 2.2.1.1. Tehnike mjerenja spinalnih adaptacija

Za procjenu prilagodljivosti plastičnosti kralježnične moždine, Hoffmann-ov (H-) refleks je intenzivno korišten.(35) Električna stimulacija tibijalnog živca u poplitealnoj jami evocira H-refleks m. soleusa. Kako tibijalni živac sadrži i osjetne i motoričke aksone, električna stimulacija ovog živca izaziva povratni odgovor (H-refleks s latencijom ~ 35 ms) i izravni mišićni odgovor (M-val s latencijom ~ 10 ms). H-refleks se posreduje akcijskim potencijalima od Ia-afherentnih vlakana do a-motornog neurona i na kraju, na neuromuskularni spoj. M-val putuje iz točke stimulacije izravno motornim aksonima do neuromuskularnog spoja. Nizak intenzitet stimulacije rezultira malim H-refleksom bez ikakvog M-vala jer se Ia-afherentna vlakana većeg promjera regrutiraju prije manjih motornih aksona. Kad je intenzitet stimulacije uspješno povećan s niskih razina dovoljnih za izazivanje malog H-refleksa sve do  $H_{max}$  i zatim  $M_{max}$ , krivulja H-refleksa je dobivena.(36)(Slika 2.)



**Slika 2.** Adaptacija H-refleksa povezana s 4 tjedna treninga balansa (16 treninga ukupno)

Preuzeto iz: Taube i sur., 2007.(12)

Izražavanje maksimalnog H-refleksa u odnosu na maksimalni M-refleks ( $H_{\max}/M_{\max}$  omjer) suzbija potencijalni problem dobivanja identičnih EMG rezultata u slučajevima mjerenja prije i poslije treninga.(37) Sve dok periferni podražaji, tj. ista postura i usporediva aktivacija ostalih mišića, zadržavaju konstantu, promjene u  $H_{\max}/M_{\max}$  omjeru koje prate trening ukazuju na promijenjenu osjetljivost a-motornog neurona kao odgovor na Ia-afherentne signale.(35) Povećan  $H_{\max}/M_{\max}$  omjer upućuje na povećan podražaj motornog neurona i/ili smanjenu presinaptičku inhibiciju terminalnih Ia-afherentnih vlakana.(37)

Oba mehanizma povećavaju izlaz a-motornog neurona i posljedično, neuralni podražaj mišića. To može biti korisno za općenito postizanje visokih mišićnih sila.(12,37) Naprotiv, smanjen  $H_{\max}/M_{\max}$  omjer nakon treninga upućuje na inhibiciju Ia-afherentnih puteva rezultirajući manjim doprinosom mišićnih vretena u stvaranju podražaja za mišićnu aktivaciju. Funkcionalno, ovo može spriječiti refleksno-kontrolirane (destabilizirajuće) pokrete i posljedično poboljšati kontrolu pokreta.(38)

#### 2.2.1.2. *Trenutna modulacija refleksa*

Ljudski središnji živčani sustav trenutno reagira na promjene u površini oslonca ili promjene koje dolaze sa periferije. Na primjer, balansiranje na uskoj gredi smanjuje amplitudu H-refleksa u usporedbi s normalnim hodanje. Slično tome, H-refleksi se smanjuju tijekom stava čim se oči zatvore.(39) Oba primjera ukazuju na to da prijenos Ia-afherentnim vlaknima se smanjuje u zahtjevnijem zadatku. Obrnuto, H-refleksi se povisuju čim se posturalni zahtjevi smanje, na primjer uz pomoć dodatne mehaničke potpore. Ova zapažanja pokazuju da je ljudski spinalni refleksni sustav vrlo prilagodljiv i brzo reagira na promjene u okolini.(40) Funkcionalno značenje takvog zadatka i specifična za posturu modulacija refleksa može biti isključena kod ljudi koji ne mogu izmijeniti njihovo ponašanje refleksa. Pacijenti s cerebelarnom ataksijom koji nisu mogli suzbiti svoje H-reflekse stajali su nestabilnije od zdravih ispitanika.(41) Slično tome, neuravnotežen stav kod pacijenata s Parkinsonovom bolešću pratila je nemogućnost promjene amplitude H-refleksa u specifičnim zadacima.(11) Prednost smanjenih spinalnih refleksa u zadacima ravnoteže pretpostavlja se prevenira oscilacije u zglobu nastale zbog refleksa.(38) Smanjeni spinalni refleksi mogli bi ukazivati i na ponovno ponderiranje senzorne informacije, kao i na promijenjene doprinose motoričkih centara.(12,38)

### *2.2.1.3. Učinci kratkoročnog i dugoročnog treninga na spinalni refleks*

Osim trenutnog moduliranja refleksa koji je rezultat promjena posturalnih zahtjeva, ljudi mogu naučiti prilagoditi spinalni refleks kao odgovor na specifično stajanje ili kretanje. Na primjer, kada su subjekti izloženi nestabilnoj podlozi i H-refleks se koristi kao destabilizirajući podražaj, ispitanici nauče suzbiti svoje H-reflekse čak unutar 2 sata.(42) Ta sposobnost za moduliranje H-refleksa je očuvana u starijih ljudi (>65 god.) i povezana je s poboljšanjem statičke stabilnosti.(43) Moglo bi se nagađati da se kod ispitanika jednostavno smanjio H-refleks kako bi umanjio utjecaj destabilizirajućeg podražaja. Međutim, nedavna istraživanja pokazala su da trening na nestabilnom terenu bez uznemirujućeg utjecaja električne stimulacije živca također uzrokuje suzbijanje H-refleksa (slika 2; (10,12)) Za razliku od postupaka u relativno kratkom treningu koje su predstavili Trimble, Koceja i Mynarka, trening balansa u kasnijim studijama (10,12) provodili su 4 tjedna ili duže (16–18 treninga). U jednom od ovih istraživanja, adaptacija H-refleksa inducirana treningom mjerena je u mirovanju.(10) To podrazumijeva da trening ravnoteže modificira spinalni refleks općenito i dovodi do trajno smanjenog H-refleksa u ispitanika koji su se suočili sa zahtjevnim posturalnim zadacima tijekom duljeg razdoblja. Smanjena ekscitabilnost H-refleksa kod plesača baleta mogla bi se objasniti na taj način.(11) Međutim, specifične adaptacije refleksa uočene u drugim studijama koje su proučavale trening balansa sugeriraju da se ponašanje spinalnog refleksa primarno modificira tijekom vježbe.

### *2.2.1.4. Adaptacije refleksa tijekom specifičnih zadataka*

U presječnoj studiji, porast H-refleksa bio je inhibiran u dobro treniranih plesača u usporedbi s fizički aktivnim ispitanicima samo kada su se mjerenja odvijala tijekom stajanja (posturalnih zadataka). Nisu primijećene razlike u proniranom položaju.(44) Slično tome, 6 tjedana treninga ravnoteže smanjilo je H-refleks isključivo tijekom izvođenja posturalnog zadatka na pokretnoj traci, ali ne tijekom neometanog stava.(12) U nešto novijoj studiji, pruženi su dokazi da ne samo da bi zadatak sam po sebi mogao biti presudan za modulaciju H-refleksa povezanu s treningom, već i faza određenog pokreta.(11) Nakon 4 tjedna treninga balansa, ispitanici su bili testirani uz kompenzaciju na brzi posteriorni pomak potporne površine. Mjereni su H-refleksi koji se podudaraju s ili najvećom vrijednosti odgovora kratke latencije (SLR) koja se javlja nakon otprilike 50 ms ili s najvećom vrijednosti odgovora duge latencije (LLR) nakon oko 120 ms. Nije



uočena adaptacija u vrijeme spinalne proizvodnje SLR-a, dok se H/M omjer značajno smanjio tijekom LLR-a.(11)

Adaptacije refleksa tijekom specifičnih zadataka nisu uočene samo nakon treninga balansa već i nakon treninga jakosti i pliometrije. Obe intervencije izazvale su smanjenje spinalnog refleksa u vježbama, npr. tijekom izometrične kontrakcije i tijekom poskakivanja, ali ne u mirovanju.(37) Adaptacija refleksa tijekom specifičnih zadataka citirana u daljnjem tekstu ukazuje da provođenje treninga i zadataka je ključ postizanja adaptacija refleksa.

#### *2.2.1.5. Refleksne adaptacije kod starijih ljudi*

Kod starijih ljudi, promjene u strategiji kontrole pokreta događaju se istovremeno sa ograničenjima u mogućnosti modulacije spinalnog refleksa, tj. sklopa kralježničnih refleksa. Naspram mlađih odraslih ljudi, stariji pokazuju manje diferencirane modulacije refleksa kao odgovor na promjene u tjelesnoj posturi.(43,44) Pretpostavljeno je da promijenjena regulacija presinaptičke inhibicije na Ia-aferentna vlakna pridonosi promijenjenim karakteristikama refleksa.(45) No, ovo ne znači da stariji ljudi u potpunosti gube svoju mogućnost prilagodbe refleksnih odgovora. Za vrijeme zahtjevnijih zadataka balansiranja kao što je tandem stav (stopalo iza stopala) pokazali su sličan pad H-reflexa kao i mlađi subjekti. Nakon 2 dana izlaganja „spinalno induciranim promjenama“ (promjene u stavu izazvane električnom stimulacijom tibijalnog živca), kod starijih ljudi amplituda H-refleksa se smanjila za 21% i površina njihanja za 10%.(43) Kako god, u odnosu na mlađe subjekte, stariji nisu modificirali ponašanje refleksa promjenom iz supiniranog ležećeg položaju u uspravni stojeći stav. Ovo može upućivati na promijenjenu živčanu kontrolnu strategiju sa starenjem prije nego na potpunu nemogućnost funkcionalne adaptacije refleksnog odgovora. Ovu pretpostavku podupire studija Granachera i sur. koja je zabilježila promijene u refleksnom ponašanju kod starijih koje su bile povezane s poboljšanim stajanjem i hodom.(30) Utjecaji programa treninga balansa od 13 tjedana uspoređeni su s adaptacijama treninga jakosti. Samo je grupa s treninga balansa imala poboljšanu posturalnu stabilnost. U odnosu na grupu koja je provodila vježbe jakosti, grupa s treninga balansa pokazala je bolji funkcionalni refleksni odgovor u mišićima pokretačima pokreta, kraće latencije i manje maksimalne angularne brzine gornjeg nožnog zgloba tijekom kompenziranja perturbacija tokom hoda na pokretnoj traci.

Zaključno, iako senzomotorni sustav starijih ljudi izgleda kao da je ograničeniji u moduliranju refleksnih odgovora, i dalje je sposoban adaptirati se u treningu balansa. Ovo može uputiti na to da neuralna kontrola balansa može biti ponovno trenirana i vraćena u osoba s oštećenim refleksnim funkcijama.(11)

#### *2.2.1.6. Živčani mehanizmi koji utječu na refleksno ponašanje*

Modulacija presinaptičke inhibicije na Ia-afherentna vlakna je vrlo vjerojatno glavni mehanizam promijene refleksnih ponašanja u studijama s treningom ravnoteže (10,12,42) i u studijama koje istražuju odnos refleksne ekscitabilnosti i zahtjevnosti posturalnog zadatka.(44,46) Generalno, smatra se da se razina presinaptičke inhibicije povećava s povećanjem posturalne nestabilnosti.(11)

Opservacija povišenog nivoa ko-kontraktija tijekom zahtjevnih posturalnih zadataka mogla bi poduprijeti takvu refleksnu inhibiciju jer se presinaptička inhibicija m. soleusa povisila tijekom ko-kontraktija.(47) Može se pomisliti kako bi poboljšana antagonistička aktivnosti mogla dodatno izmijeniti refleksnu ekscitabilnost na način recipročne inhibicije. Time rečeno, recipročna inhibicija se povisila s povećanjem težine posturalnih zadataka.(48) Kako god, treba napomenuti kako su dvije kasnije studije mjerile inhibični utjecaj antagonističke aktivnosti na agonistu bez upućivanja na specifične putove koji su mogli biti uključeni. „Recipročna inhibicija“ u tom širem smislu obuhvaća presinaptičke inhibicije te se stoga mora razlikovati od „disinaptičke recipročne inhibicije“ koja opisuje disinaptički krug u leđnoj moždini. S time na umu, rezultati Nielsena i Kagamihara nisu kontradiktorni opažanjima spomenutima prije (47,48) gdje su zabilježili smanjenu disinaptičku recipročnu inhibiciju tijekom nestabilnog stajanja (stoj na jednoj nozi, nagnjanje unatrag ili stajanje na nestabilnoj podlozi) u usporedbi s normalnim stajanjem ili sjedenjem. Sve u svemu, malo je vjerojatno da je recipročna inhibicija glavna pokretačka sila promjena u refleksnoj ekscitabilnosti nakon treninga balansa. Uvjerljiva potpora dolazi iz studija koje su provodile trening balansa koje su zabilježile modulaciju H-refleksa bez ikakvih promjena u EMG aktivnosti i nivoa ko-kontraktija.(10,12) Tako, postsinaptički mehanizmi vjerojatno neće biti odgovorni za refleksne promjene u tim istraživanjima.

Opažanja navedena u prethodnom tekstu upućuju na važnost funkcije presinaptičkih mehanizama. Smatra se da supraspinalni centri kontroliraju količinu aferentnog unosa, ovisno o funkcionalnoj ulozi odgovarajućeg mišića, podešavanjem presinaptičke inhibicije. Na primjer, Nielsen i Kagamihara primijetili su smanjenu presinaptičku inhibiciju kada su mišići koji okružuju zglob bili sinkrono aktivirani (ko-kontraktura) tijekom posturalnog zadatka. Međutim, to smanjenje je bilo očito 50 ms prije ko-kontrakture za stabilizaciju zgloba. Autori su naglasili da se periferne povratne informacije ne mogu manifestirati prije početka kontrakture. Na temelju toga i opažanja da je presinaptička inhibicija neovisno kontrolirana za medijalni m. gastrocnemius u usporedbi s m. tibialis anterior i m. soleus, Nielsen i Kagamihara pretpostavili su da središnja kontrola interneurona prenosi inhibiciju. S obzirom na trening balansa, pretpostavljalo se da je supraspinalno inducirana presinaptička inhibicija Ia aferentnih vlakana pojačana takvom intervencijom.(10,12) Ta se pretpostavka uglavnom temelji na činjenici da su H-refleksi bili isključivo smanjeni na vrijeme perturbacije inducirane u LLR-u (120 ms), dok su ostali nepromijenjeni u SLR-u (50 ms).(12) Prethodna studija pokazala je da vremenska ograničenja sprječavaju supraspinalni utjecaj na SLR, ali ne i na LLR.(49). Kao posljedica toga, supraspinalna kontrola presinaptičke inhibicije ne utječe na SLR i ne može se modulirati do pojave LLR-a.

### *2.2.2. Supraspinalne adaptacije*

Osim spinalnog sustava, mnoge supraspinalne strukture potrebne su i odgovorne za kontrolu uspravnog stava u ljudi. Bazalni gangliji, mali mozak i moždano deblo imaju važne funkcije u organizaciji posture.(50) nadalje, prošla primjena elektrofizioloških tehnika i tehnika snimanja uputile su na to da kora velikog mozga doprinosi kontroli balansa.(51) Zbog lakšeg pristupa kortikalnim naspram subkortikalnim strukturama, adaptacije nakon treninga balansa najbolje su poznate za motorni dio kore mozga.

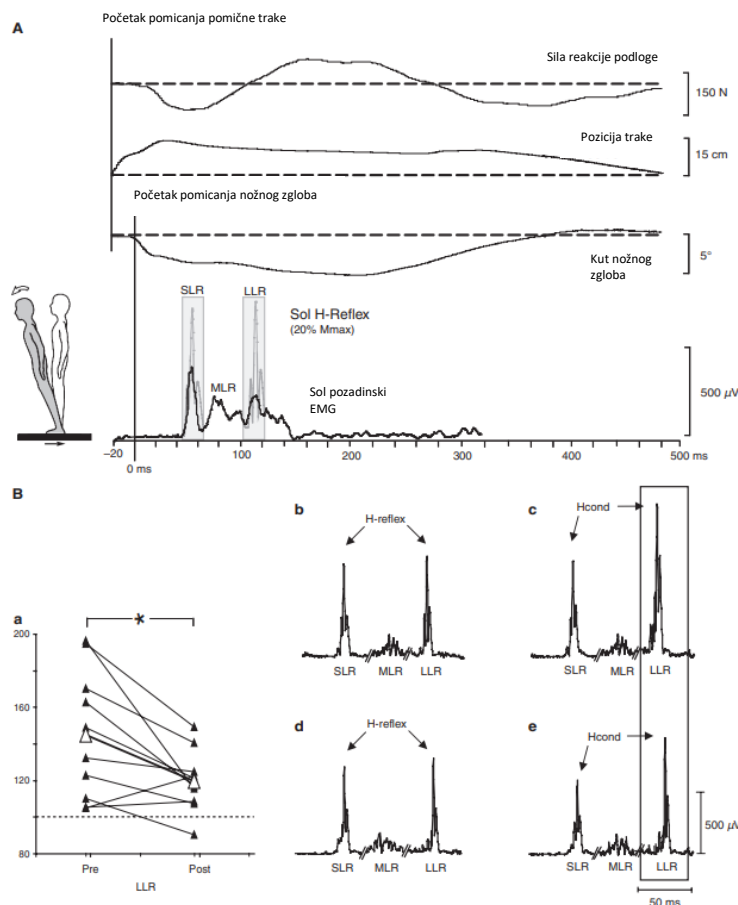
#### *2.2.2.1. Tehnike mjerenja supraspinalnih adaptacija*

Neinvazivne elektrofiziološke tehnike snimanja mozga omogućile su uvid u supraspinalnu kontrolu posture kod ljudi. S tim tehnikama bilo je moguće identificirati neke od kortikalnih adaptacija povezanih s treningom balansa. Kotrikospinalna ekscitabilnost tijekom posturalnih

zadataka može se procijeniti uz pomoć transkranijalne magnetske stimulacije (TMS). Međutim, treba napomenuti da vrijeme uspona magnetski evociranog „motornog evociranog potencijala“ (MEP) je dovoljno dugo da omogući nekoliko puteva da doprinesu njegovoj facilitaciji. Stoga, promjene u ekscitabilnosti kortikalnih, subkortikalnih i/ili spinalnih živaca mogu utjecati na amplitudu MEP-a.(52) Posljedično, promjene u podražljivosti koje je procijenio samo TMS ne mogu se pripisati određenim strukturama središnjeg živčanog sustava.(53)

Kako bi se suzbila ta ograničenja, nekoliko je pristupa poduzeto. Jedna od metoda je mjerenje kortikospinalne podražljivosti pomoću TMS-a i dodatno primijenjene električne stimulacije tibijalnog živca kako bi došlo do spinalne podražljivosti.(38) Diferencijalna modulacija MEP-a i H-refleksa može ukazivati na promjene u podražljivosti kortiko-motornih neurona. Ograničenje ove tehnike je, međutim, da H-refleks ne ovisi samo o razini podražljivosti motornih neurona, već je i pod utjecajem presinaptičke inhibicije. Nadalje, usporedba MEP-a i H-refleksa ne može isključiti promjene u ekscitabilnosti na razini interneurona.(53) Osim ovih ograničenja, odgovori nakon stimulacije perifernog živca možda neće uvijek aktivirati istu skupinu motornih neurona i mogu biti različito zabilježeni promjenama ekscitabilnosti motornih neurona nego kod odgovora posredovanih putem kortikospinalnog trakta.(54)

Pouzdanije metode bilježenja promjena u kortikalnoj ekscitabilnosti su kondicioniranje H-refleksa pomoću TMS-a, usporedba magnetski i električno evociranih MEP-ova i upareni fokalni TMS.(11) Za metodu kondicioniranja H-refleksa, H-refleks konstantne veličine (55) pobuđen je gotovo istodobno s MEP-om kako bi se oba voleja podudarala na razini motoričkih neurona. Ovisno o vremenskom intervalu između TMS-a i stimulacije perifernog živca, može se procijeniti aktivnost u specifičnim putevima kortikospinalnog trakta. Latencija voleja TMS-a koji dolazi do a-motornog neurona je nekoliko milisekundi kraća od latencije perifernog voleja. Prema tome, najraniji učinak silaznog kortikospinalnog pulsa na H-refleks može se naći kada se H-refleks oslobađa približno 2-4 ms prije TMS-a. Ova najranija uočljiva H-refleks facilitacija može (barem u prvih 0,5 – 1 ms nakon početka) većinom vjerojatno biti pripisana utjecaju izravnih monosinaptičkih projekcija iz motornog korteksa sinapsama do spinalnog motornog neurona.(56) Budući da se te projekcije smatraju bez presinaptičke inhibicije (57), promjene u kondicioniranom H-refleksu su po svemu sudeći uzrokovane promjenama u podražljivosti kortikalnih interneurona i/ili kortiko motornih neurona. (slika 3.)



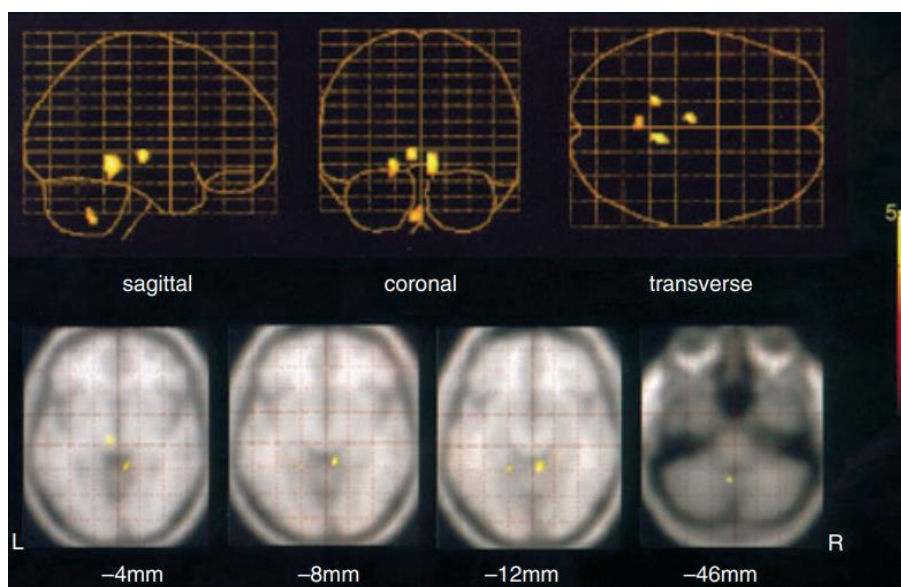
**Slika 3.** Promjene inducirane treningom kao doprinos direktnih kortikospinalnih puteva tijekom kompenzacije posturalnih ometanja. (A) Početak pomaka pokretne trake s odgovarajućom vertikalnom silom reakcije tla i početkom kretnji gornjeg nožnog zgloba tijekom ometanog stava na pokretnoj traci. (B) Utjecaj transkranijalne magnetske stimulacije (TMS) ispod praga na H-refleks (Hcond) pri SLR i LLR prije (b, c) i poslije treninga balansa (d, e).

Preuzeto iz: Taube i sur. 2007. (58)

Druga metoda procjene promjena u kortikalnoj podražljivosti je usporedba MEP-a evociranih TMS-om i transkarnijalnom električnom stimulacijom (TES). Iako i TMS i TES izazivaju silazne kortikospinalne voleje, mehanizmi aktivacije se razlikuju. TMS deporalizira kortiko motorne neurone trans-sinaptički i uzrokuje pretežno „neizravne“ kortikospinalne voleje (I-valove). S druge strane, TES aktivira kortikospinalne neurone izravnije na aksonalnom mjestu, rezultirajući tzv. „D-valom“.(59) Električno evocirani odgovori stoga su pod manje snažnim utjecajem ekscitabilnosti motornog korteksa od onih podraženih TMS-om.

Upareni fokalni TMS može se primijeniti za procjenu iznosa intrakortikalne inhibicije i intrakortikalne facilitacije. Ovisno o interstimulus intervalu (ISI), utjecaj podzadanog stimulusa na odgovor naknadnog iznadzadanog stimulusa otkriva nivo intrakortikalne inhibicije (ISI između 1 i 5 ms) ili intrakortikalne facilitacije (ISI između 8 i 15 ms).(60) Potonja metoda je lakša za ostvariti od kondicioniranog H-refleksa ili kombinirane primjene TMS-a i TES-a, međutim vrlo je podložna promjenama podražljivosti unutar motornog neurona te je stoga treba koristiti tijekom dinamičke kontrakcije.

Tehnike neurosnimanja kao što je pozitronska emisijska tomografija (PET) omogućuju mjerenje regionalnih cerebralnih protoka krvi tijekom izvođenja različitih zadataka (slika4.). Prednost PET-a u usporedbi s TMS je veća dostupnost različitim područjima mozga (npr. mali mozak ili bazalni gangliji). Međutim, vremenska rezolucija ove tehnike nije dovoljno visoka za otkrivanje promjena tijekom brzih, i konkretno, korektivnih pokreta. Ova vremenska rezolucija nije definirana tehnološkim ograničenjima nego ograničena brzinom intrakortikalnih metaboličkih procesa. Stoga se čini malo vjerojatnim da tehnički razvoj može riješiti ovaj problem u budućnosti.(11)



**Slika 4.** Promjene u moždanoj aktivaciji u dva različita stojeća stava. Ilustrirano je značajno povećanje regionalnog cerebralnog protoka krvi (rCBF) iz uspravnog stojećeg stava u tandem stav. Poboljšana rCBF uočena je u anteriornom i posteriornom vermisu i u srednjem mozgu koji odgovara crvenom nucleusu.

Izvor: Ouchi i sur. 1999. (61)

### 2.2.2.2. Kortikalni doprinos kontroli balansa

Bazirano na prijašnjem radu Sherrington (1910.god.), često je bilo prihvaćeno da motorni dio kore ima malu ulogu u kontroli posture čovjeka.(62) Umjesto toga, subkortikalne strukture smatrale su se esencijalnim za održavanje ravnoteže.(63) Ipak, nedavna promatranja upućuju na važnu ulogu kore mozga u održavanju posturalne kontrole i kod životinja i kod ljudi. Direktne elektrofiziološke snimke s kortikalni motornih neurona u zečeva i mačaka demonstrirale su da je neuralni izlaz iz tih stanica bio jako povezan s posturalnim kompenzatornim reakcijama, koje su bile uzrokovane sinusoidnim rotacijama podloge.(64) U ljudi, neinvazivne elektrofiziološke tehnike kao TMS, PET ili elektroencefalografija, također su indicirale da je kortikalna kontrola uključena u različitim posturalnim zadacima.(51) Na primjer, tijekom hoda, središnji živčani sustav je primoran dinamički izbalansirati više tjelesnih segmenata s visokim centrom težišta preko male površine oslonca. Iako je ova radnja automatizirana, i dalje se oslanja na kortikalni unos. Kortikalni utjecaj je nadalje povišen kada je potrebno precizno koračanje ili kada je ciklus hoda ometan.(65)

Zanimljivo, filogenetski novije razvijene strukture doprinose organizaciji hoda. U primata i ljudi, pojavio se izravni monosinaptički kortikospinalni put koji se spušta od motornog korteksa do spinalnih motornih neurona. Kod majmuna, takve kortikomotoneuralne projekcije pokazale su se bitnim za inicijaciju i izvedbu voljne dinamičke kontrakcije mišića podlaktica/potkoljenica. Kod ljudi se smatra da izravni putevi omogućuju veliku manualnu spretnost gornjih ekstremiteta.(66) Međutim, kada su Nielsen i sur. kondicionirali H-refleks s TMS-om, otkrili su da izravni putevi u ljudi su također važni za voljnu mišićnu aktivnost donjih ekstremiteta. U tom se kontekstu pokazalo da monosinaptički putevi doprinose izvedbi hoda.(11) U nedavnom istraživanju, kondicioniranje H-refleksa s TMS-om pokazalo je da su direktne kortikospinalne projekcije prema donjim ekstremitetima važne za neuromuskularnu kontrolu ometanog stava.(49) Za razliku od hodanja, početni kompenzacijski odgovor nakon brzih posturalnih ometanja organizira se na razini kralježnice kako vremenska ograničenja sprječavaju utjecaj kortikalnih i subkortikalnih struktura. Vrijeme kortikalnog sudjelovanja dakle ovisi o minimalnom zbroju vremena aferentnog i eferentnog provođenja kao i vremenu za središnju obradu. Za soleus i tibijalis anterior, inicijalne latencije za takvu transkortikalnu petlju pretpostavlja se da je oko 85-100 ms.(49,67)

Kortikospinalna ekscitabilnost se povećava tijekom nestabilnog stajanja (npr. stajanja na prstima, naginjanja naprijed, stajanja na njihajućim podlogama).(38) Nedavna promatranja upućuju

da kortikalna ekscitabilnost može biti isto promijenjena tijekom normalnog stava (neometanog na stabilnoj podlozi).(61) U potonjoj studiji, intrakortikalna inhibicija i intrakortikalna facilitacija bile su procijenjene tijekom stajanja, sjedenja u mirovanju i voljne plantarne fleksije pomoću uparenog fokalnog TMS-a. Tijekom normalnog stava, intrakortikalna inhibicija soleusa bila je snižena u usporedbi s mirovanjem, ali se nije razlikovala u odnosu na voljnu toničku plantarnu fleksiju.(61) Stoga su autori pretpostavili sličnu kortikalnu uključenost između stajanja i dobrovoljne plantarne fleksije. Međutim, nisu mogli isključiti da je taj učinak djelomično uzrokovan promjenama u spinalnoj ekscitabilnosti. Promatranje diferencijalne modulacije MEP-a evociranog TMS-om i TES-om tijekom podržanog i prirodnog stava dodatno naglašava ulogu motornog korteksa u stojećem položaju.(11) Magnetski evocirani MEP povisio se u prijelazu s poduprijetog stajanja u normalni stav, ali MEP kao odgovor na TES se nije promijenio. Budući da su električno evocirani odgovori pod manje snažnim utjecajem ekscitabilnosti motornog korteksa od onih pod TMS-om, ovi rezultati ukazuju na poboljšanu kortikalnu ekscitabilnost tijekom prirodnog stojećeg stava.

### *2.2.2.3. Kortikalne adaptacije koje prate trening balansa*

Kortikalna plastičnost kao odgovor na kratkotrajne i dugotrajne treninge balansa pokazala se i za gornje i za donje ekstremitete.(68) Međutim, smatralo se da su se adaptacije, kao rezultat treninga balansa, uglavnom događale na spinalnom nivou zbog visokih intermuskularnih aktivacijskih frekvencija koje su uočene tijekom zadataka balansiranja na nestabilnim platformama.(69) Ova pretpostavka nije uzela u obzir bihevioralne promjene tijekom treninga balansa koje sugeriraju da centralne modifikacije također igraju ulogu u učenju i modificiranju posturalnih odgovora.(70) Na primjer, Horak i sur. demonstrirali su da prijašnje iskustvo i znanje o jačini posturalnih ometanja utječe na kompenzacijski odgovor. Kada su ispitanici očekivali veće uznemirenje nego što se zaista dogodilo, prejako su reagirali. Suprotno se pokazalo istinitim kada je bilo očekivano manje uznemirenje stava. Stoga se tvrdilo da i periferni i središnji mehanizmi moduliraju stvarne i očekivane karakteristike perturbacije. Otprilike dva desetljeća kasnije, poboljšani balans zapravo se pokazao povezanim s kortikalnom plastičnošću.(58) Taube i sur. istraživali su kortikalni doprinos prema LLR-u m. soleusa tijekom ometanog stava prije i nakon 4 tjedana treninga balansa. H-refleksi, koji su vremenski tempirani da se podudaraju s LLR-om oko 120 ms, bili su kondicionirani podzadanim (subthreshold) TMS-om. Vrijeme između električne



stimulacije tibijalnog živca (H-refleks) i TMS-a (MEP) odabrani su kako bi prikazali ekscitabilnost u izravnim monosinaptičkim kortikospinalnim projekcijama. Facilitacija tih izravnih puteva bila je smanjena nakon treninga balansa (slika 3.). Budući da se te projekcije smatraju slobodnima od presinaptičke inhibicije, ovo ukazuje na smanjenu kortikalnu ekscitabilnost nakon posturalnog treninga u vrijeme LLR-a. Te kortikalne promjene bile su negativno povezane s promjenama u stabilnosti stajanja, tj. ispitanici koji su imali smanjenu kortikalnu ekscitabilnost u većoj mjeri pokazali su veća poboljšanja u stabilnosti stajanja. Kako nije bilo povezanosti između promjene u stabilnosti stajanja i promjena u H-refleksu, smatralo se da su poboljšanja u balansu oslonjena isključivo na supraspinalne adaptacije.(11)

#### *2.2.2.4. Supraspinalne adaptacije tijekom specifičnih zadataka*

Druge studije su proširile svoje promatranje kortikalne plastičnosti prateći trening balansa pokazujući da supraspinalna plastičnost dosta ovisi o specifičnosti zadatka.(71,72) U obje studije, adaptacije nakon treninga balansa bile su uspoređene s adaptacijama induciranom treningom jakosti. Utjecaji treninga procijenjeni su tijekom odmora, posturalnih ometanja i tijekom voljnog pokreta stopala. Beck i sur. utvrdili su da su učinci treninga bili vidljivi samo tijekom obavljanja zadatka: kortikospinalna ekscitabilnost bila je smanjena tijekom kompenzacijske reakcije na translacijska ometanja u subjektima koji su radili trening balansa, dok se uključivanje MEP-a povećalo u dobrovoljnoj plantarnoj/dorzalnoj fleksiji nakon treninga jakosti. Nikakve promjene nisu uočene u stanju bez treniranja i tijekom odmora. Ovi rezultati upućuju na to da ne samo spinalne, već i kortikospinalne adaptacije ovise o specifičnosti zadatka. Stoga se čini važnim da neovisno o mjestu prilagodbe, kongurencija posturalnog zadatka tijekom treninga i elektrofiziološka procjena moraju se primijeniti kako bi se uočili utjecaji specifičnog treninga balansa.

Ta je pretpostavka dodatno osnažena rezultatima Schuberta i sur., koji su procijenili promjene u ekscitabilnosti izravnih kortikospinalnih puteva pomoću H-refleksa uvjetovanog s TMS-om. Nakon treninga balansa, kortikalna ekscitabilnost bila je smanjena tijekom izvođenja posturalnih zadataka u skladu s prije navedenim studijama. Međutim, kada su subjekti koji su provodili trening balansa mjereni u dobrovoljnim zadacima, bila je prisutna povećana kortikalna ekscitabilnost. Poboljšana proizvodnja eksplozivne sile koja prati trening balansa mogla bi biti

uzorkovana povećanom kortikalnom ekscitabilnosti prema agonističkom mišiću. Može se nagađati da je sinaptička učinkovitost izravne kortikospinalne projekcije prema mišićima koji obuhvaćaju gornji nožni zglob povećana treningom balansa i može se iskoristiti u dobrovoljnoj kontrakciji. Ostaje pitanje kako se smanjena kortikospinalna ekscitabilnost, koja prati trening balansa, tijekom izvođenja zadataka balansa može objasniti.(11)

#### *2.2.2.5. Indikacije za subkortikalnu plastičnost*

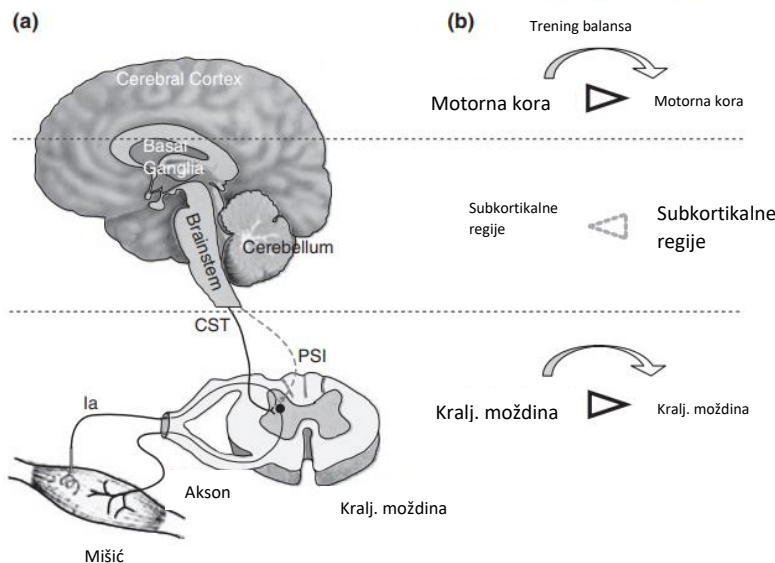
Sve studije koje su se usredotočile na supraspinalne adaptacije kao odgovor na trening balansa zabilježile su smanjenje kortikospinalne i kortikalne ekscitabilnosti kod mjerenja tijekom posturalnih zadataka. Kako je H-refleks ili ostao isti (71,72) ili smanjen (58) dok pozadinska EMG aktivnost nije bila promijenjena, autori su pretpostavili da su subkortikalni mehanizmi važni u proizvodnji mišićne sile. Ta je pretpostavka bila na temelju prethodnih studija koje su proučavale stjecanje vještina pomoću TMS-a i funkcionalne magnetske rezonancije. Ova ispitivanja pokazala su da je motorna kortikalna aktivnost bila velika tijekom inicijalne faze treninga (tijekom akvizicije), ali se smanjila s progresivnim treningom (automatizacija).(11)

S druge strane, aktivnost u subkortikalnim regijama poput bazalnih ganglija i malog mozga povećala se s povećanjem automatizacije zadatka.(73) Važnost subkortikalnih struktura za automatske (naučene) motoričke zadatke, kao i za posturalnu kontrolu, spomenuta je u nekoliko studija.(74) Na primjer, aktivnost u subkortikalnim regijama se povećala kada su se posturalni zahtjevi povećali, tj. kada je napravljen prijelaz iz normalnog stojećeg položaja u tandem stav.(75)(slika 4.).

Što se tiče učenja posturalnih strategija, pokazalo se da su pacijenti s deficitima na malom mozgu pokazali nemogućnost funkcionalne adaptacije njihovog LLR-a kao odgovor na promijene u zadacima perturbacije.(76) Pacijenti su, kao i zdravi ispitanici, demonstrirali LLR na 120 ms nakon translacijskih ili rotacijskih perturbacija. Zdravi ispitanici uspjeli su izbjeći neprimjerene kompenzatorne odgovore nakon tri do pet ispitivanja, dok su pacijenti bili ili znatno sporiji ili nisu uopće mogli prilagoditi svoje odgovore.

Važnost cerebelarnih struktura za stjecanje vještina balansa čini razumnim za pretpostaviti da trening balansa izaziva „pomak u kontroli kretanja“ iz kortikalnih u subkortikalne i cerebelarne

strukture. (slika 5.) Međutim, zbog poteškoća u pristupu subkortikalnim strukturama pomoću trenutnih tehnika mjerenja, ne postoje izravni dokazi o tome kako se te strukture prilagođavaju kao odgovor na trening balansa.



**Slika 5.** Pojednostavljena ilustracija adaptacija induciranih treningom balansa tijekom posturalnih zadataka. (a) Strukture živčanog sustava, za koje se smatra da imaju važnu ulogu u održavanju i uspostavljanju balansa. Senzorna informacija iz vizualnih, vestibularnih, dodirnih i proprioceptivnih izvora integrirana je u posturalnu kontrolu. Uz somatosenzorni sustav, promjene u duljini mišićnih vlakana nakon perturbacije signalizirane su pomoću Ia i II aferentnim vlaknima koja polaze iz mišićnog vretena. Ta informacije je prenesena do kralježnične moždine i supraspinalnih centara. Rani dio kompenzacijske reakcije (odgovor kratke i srednje latencije) obrađen je na kralježničnom nivou. Nakon otprilike 90-100 ms je dovoljno vremena za supraspinalne izvore da kontroliraju mišićnu izvedbu (LLR), preko kortikospinalnog trakta koji potječe iz motornog dijela kore velikog mozga (precentralne vijuge). (b) Ni spinalne niti supraspinalne strukture generiraju stereotipne kompenzacijske reakcije nakon posturalnih ometanja. Prijašnje iskustvo (npr. trening balansa) ili iščekivanje destabilizirajućeg podražaja kao i kontekstualno specifična namjera mogu dovesti do promjena u posturalnom odgovoru. Smatra se da trening balansa smanjuje podražljivost spinalnog refleksa povećanjem supraspinalno inducirane presinaptičke inhibicije (PSI) (ilustrirano u donjem redu). Također dobro dokumentirana adaptacija nakon treninga balansa je redukcija u kortikalnoj uključenosti (prvi red). Tako se može pretpostaviti da se trening balansa i poboljšana posturalna kontrola nakon treninga balansa strogo oslanja na subkortikalne strukture (srednji red).

Izvor: Taube i sur., 2008. (11)

### 3. VERTIKALNI SKOK

Vertikalni skok je čin skoka prema gore u zrak. To može biti vježba za izgradnju izdržljivosti i snage, a također je i jedan od standardnih testova sportskih performansi. Može se nazvati i Sargent skok, nazvan po Dudleyju Allen Sargent.(77)

Okomiti skok podijeljen je u dvije različite vrste: (78)

- Stojni vertikalni skok: Ovo se odnosi na vertikalni skok izveden iz mirnog stojećeg stava bez ikakvih koraka. Obično mu prethodi brza radnja čučnja.
- Vertikalni skok iz trčanja: Ovo se odnosi na vertikalni skok nakon trčanja: posljednji korak trčanja koristi se za lansiranje u skok. To može pomoći u dodavanju dodatne energije skoku i poboljšanju rezultata vertikalnog skoka u stojećem položaju.(78)

Općenito, vertikalni skok iz stojećeg stava je onaj koji se koristi kao službeno mjerenje za sportaše.(79)

Mjerenje okomitog skoka prvenstveno se koristi za mjerenje sportskih performansi. U sportovima kao što su skok u vis, košarka i odbojka, snažan vertikalni skok neophodna je vještina, ali i mnogi drugi sportovi mjere sposobnost vertikalnog skoka svojih igrača tijekom fizičkih pregleda. Osim toga, pojedinačni i višestruki vertikalni skokovi povremeno se koriste za procjenu mišićne izdržljivosti i anaerobne snage kod sportaša.(79)

#### 3.1. Mjerenje

Najjednostavnija metoda za mjerenje sportaševog vertikalnog skoka je uputiti sportaša da ispruži ruku uz ravni zid, s ravnom površinom ispod nogu (poput poda u teretani ili betona) i zabilježi najveću točku koju može doseći bez podizanja na prste (visina ove točke od tla naziva se "stojeći domet"); vrhovi prstiju prašni kredom mogu olakšati određivanje točaka dodirnutih na zidu. Sportaš se tada trudi skočiti s ciljem da dodirne najvišu točku na zidu koju može doseći; sportaš može izvesti te skokove koliko god je puta potrebno ili koliko trener ili ispitivač odredi. Bilježi se visina najviše točke koju sportaš dosegne. Razlika između ove visine i dosega pri stajanju je vertikalni skok sportaša.(77)

Gore opisana metoda najčešći je i najjednostavniji način mjerenja nečijeg okomitog skoka te ta metoda ima puno modifikacija, ovisno o sredstvima koja su dostupna ispitivaču te o njegovoj kreativnosti. Tako se osim praška krede mogu koristiti ljepljive trakice, snimanje usporenom snimkom uz centimetarsku vrpču i dr., no osmišljene su i druge točnije metode. Na primjer, ploča za pritisak može se koristiti za mjerenje vremena koje je potrebno sportašu da izvrši skok, a zatim pomoću kinematičke jednadžbe ( $h = g \times t^2/2$ ) računalo može izračunati njegov ili njezin vertikalni skok na temelju vremena u zrak.(77)

Druga, učinkovitija i ispravnija metoda je uporaba infracrvenog lasera postavljenog na tlu. Kad sportaš skoči i rukom razbije ravninu lasera, mjeri se visina na kojoj se to događa. Uređaji temeljeni na patentu Sjedinjenih Država 5031903, "Uređaj za ispitivanje vertikalnog skoka koji sadrži mnoštvo okomito postavljenih mjernih elemenata od kojih je svaki zakretno montiran ..." također su uobičajeni. Ovi se uređaji koriste na najvišim razinama kolegijskog i profesionalnog testiranja performansi. Sastoje se od nekoliko (otprilike 70) 14-inčnih zubaca postavljenih 0,5 inča horizontalno. Sportaš će tada skočiti okomito (bez trčanja ili koraka) i stupiti u kontakt s horizontalnim zupcima kako bi označio svoju sposobnost skoka. Ovaj uređaj koristi se svake godine u izviđačkom kombinatu NFL -a.(77)

### 3.2. Maksimalni vertikalni skok

Važan element u maksimiziranju visine skoka neposredno je prethodna radnja čučnja koja unaprijed opterećuje mišiće. Ova radnja čučnja obično se izvodi brzo i naziva se kontra-pokret: brzo savijanje nogu i pomicanje ruku sa bočnih strana osobe čine kontra-pokret prema stvarnom pokretu skoka. Kontra-pokret i skok zajedno se nazivaju „kontra-pokretni skok“ („*counter-movement jump*“ - CMJ). Pokazalo se da kontra-pokret nogu, brzo savijanje koljena koje spušta središte mase prije skoka prema gore, poboljšavaju visinu skoka za 12% u odnosu na skakanje bez kontra-pokreta. To se standardno pripisuje ciklusu rastezanja-skraćivanja („*stretch shortening cycle*“ - SSC), npr. istezanje mišića do kojeg dolazi tijekom čučnja generira veći potencijal mišića da se kontrahiraju tijekom izvedbe koja slijedi, što omogućuje snažniju izvedbu skoka. Nadalje, visina skoka može se povećati za još 10% izvođenjem zamaha rukama tijekom faze polijetanja skoka u usporedbi s ako se ne koriste zamasi rukama. To uključuje spuštanje ruku u stranu ispitanika tijekom kontra-pokreta nogu i snažno zamahivanje prema gore i iznad glave tijekom

skoka (ista metoda skoka korištena je u ovom istraživanju). Ova metoda je najpopularnija i najčešće korištena u istraživanjima koja ispituju vertikalni skok.(80)

Druga metoda za poboljšanje visine vertikalnog skoka, u kratkom periodu tj. trenutno, je izazivanje takozvanog PAP efekta, odnosno postaktivacijske potencijacije. Taj efekt se može postići ili snažnim izometričkim kontrakcijama ili snažnim izotoničkim kontrakcijama, npr. teškim čučnjem u malo ponavljanja. U suštini to izaziva hiperstimulaciju živčanog sustava te uključenost većeg broja mišićnih vlakana. Poticanjem PAP-a izometričkim kontrakcijama ne pokušava se dobiti produljeno vrijeme kontrakcije, već najjača moguća kontrakcija bez pokreta. To se može izvesti npr. na preši za čučanj, toliko opterećenij da se ne može pomaknuti. Tako jedno istraživanje pokazuje statistički značajno povećanje visine vertikalnog skoka u treniranih ispitanika nakon 5 min zagrijavanja na biciklu laganog intenziteta kombinirano sa 3 sekunde izometričkog čučnja sa 150% snage od njihovog jednog maksimalnog ponavljanja (1RM) u odnosu na grupu koja se samo zagrijala na biciklu. Taj efekt najbolje rezultate je pokazao 4 min nakon izometričkog čučnja, a to povećanje je održano i nakon 5 minuta odmora. Tako se zaključuje da dodavanjem funkcionalne izometrije zagrijavanju može značajno poboljšati akutnu i kratkotrajnu proizvodnju sile u eksplozivnim radnjama, kao vertikalni skok. U drugom slučaju, kod dinamičke kontrakcije, studije pokazuju poboljšanu visinu vertikalnog skoka nakon izvođenja čučnja na 75-80% opterećenja od 1RM te da je ovaj efekt veći kod sportaša sa relativno većom snagom. (81–83)

## 4. BIOSWING POSTUROMED

Bioswing Posturomed je senzomotorni uređaj za prevenciju, terapiju i dijagnostiku, certificiran prema MDR 2017/745. Njegova terapijska površina ovješena je na dvostruki oscilirajući mehanizam, koji omogućuje dozirana, prigušena kretanja njihala s različito podesivim amplitudama oscilacija i frekvencijama titranja.

Posturomed se pojavio na tržištu 1995. godine kao prvi i do sada jedini prigušen, nestabilan oscilirajući senzomotorni terapijski uređaj i od samog početka usmjeren na terapijsku uporabu. Njegov razvoj započeo je već krajem 1980 -ih godina u bliskoj suradnji između osnivača tvrtke Eduarda Haidera i praktično i znanstveno aktivnih fizioterapeuta i specijalista s područja ortopedije, neurologije, gerijatrije te fizikalne i rehabilitacijske medicine.

### 4.1. Učinak

Doziranom provociranjem kontrole motoričkog sustava i regulacije iz somatosenzornog sustava u zatvorenom lancu kretanja na Bioswingu-u Posturomed može se postići optimalna kvaliteta posturalnih radnji i reakcija. Ova aktivacija segmentne, sektorske i polisegmentalne koordinacije služi za stabilizaciju potpornih zglobova i kralježnice. Stabilan senzomotorni sustav osnova je bezbolnog i učinkovitog sustava kretanja.

### 4.2. Modeli

Bioswing Posturomed dostupan je u dvije varijante modela, koje se bitno razlikuju po veličini, a time i po području primjene:

- BIOSWING Posturomed 202 dizajniran je s terapijskom površinom 60 x 60 cm i trostranim rukohvatom za stacionarnu uporabu. Certificirano prema MDR 2017/745. Ovaj model se nalazi u prostorijama Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci te je korišten u ovom istraživanju.
- BIOSWING Posturomed Compact dizajniran je za mobilnu uporabu s terapijskom površinom 40 x 40 cm i preklopnim rukohvatom s jedne strane s ručkom. Certificirano prema MDR 2017/745.



**Slika 6.** Bioswing Posturomed 202. Preuzeto s: <https://www.kuebler-sport.com/bioswing-posturomed-202-en-gb-t3483.html>

#### 4.3. Dodatni moduli

Dodatni moduli koji se lako mogu nadograditi posebno razvijeni za Bioswing Posturomed značajno proširuju njegove mogućnosti primjene. To znači da se Posturomed može još konkretnije koristiti za određene indikacije i u određenim fazama rehabilitacije.

- Modul za rehabilitaciju - omogućuje funkcionalne vježbe stabilizacije koljena, kuka i zdjelice izometrijske ili dinamičke u zatvorenom kinetičkom lancu.
- Modul OSG - produžuje površinu terapije njihala za nagibnu os koja se može ograničiti u nagibu. Zglobovi gležnja izazvani su povećanom stabilizacijom u različitim osima kretanja.
- Modul sjedala - omogućuje stabilizacijske vježbe sjedeći, osobito za pacijente koji ne mogu izvesti odgovarajuće vježbe stojeći, te ima mogućnost podešavanja visine.
- Modul provokacije - koristi se za skretanje površine terapije za 10, 20 ili 30 mm za ciljanu, standardiziranu obuku s povratnom spregom.
- Modul povratne informacije - omogućuje bolju vizualizaciju kretanja terapijske površine, osobito u terapiji s modulom za rehabilitaciju. Povratni modul sastoji se od tri para za povezivanje s tri strane terapijske površine.
- Kontaktni modul - podržava kvalitetu kretanja pacijenata. Pričvršćivanjem gumica različitih duljina na različite načine, mogu se pacijentima ponuditi taktilni podražaji koji ukazuju ili ograničavaju fluktuacije pokreta.



- Mreža za titraciju - podržava terapeute u terapiji kako bi mogli klinički bolje i pouzdanije procijeniti fluktuacije i asimetrije tijela ili dijelova tijela pacijenata. Idealno za foto dokumentaciju.
- Podnožje za prepone - služi standardiziranoj provedbi svih vježbi koje imaju početni položaj prije Posturomeda. Na primjer, vježbe penjanja mogu se izvoditi s ponavljajućim duljinama koraka.

## 5. CILJEVI ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZE

Cilj ovog rada bio je istražiti imaju li vježbe balansa trenutni utjecaj na aktivnost eksplozivne snage, u ovom slučaju vertikalni skok. Pitanje iz kojeg je proizašla ideja je da ako se promjene u kortikalnoj ekscitabilnosti pojavljuju nakon nekoliko tjedana provođenja vježbi balansa i isto tako nakon već prve vježbe, a uočena je povećana snaga i stopa proizvodnje sile nakon nekoliko tjedana, bi li se takve promjene vidjele već i nakon prve vježbe.

Hipoteza ovog rada je da će biti promjene u vertikalnom skoku nakon provođenja vježbi balansa, u smislu poboljšanja.

## 6. METODE

### 6.1. Ispitanici

U istraživanju je sudjelovalo 24 ispitanika. Svi su studenti na Fakultetu zdravstvenih studija, između 1. i 3. godine studija (dakle između 18 i 22 godine života). Uvjet je bio da se ispitanik bavi bilo kojom vrstom sporta/tjelesne aktivnosti najmanje tri puta tjedno. Ispitanici su potpisali suglasnost za sudjelovanje u istraživanju uz razumijevanje za mogućnost nastanka bilo kakve nezgode i/ili ozljede. Od 24 ispitanika, 12 je bilo muškaraca i 12 žena. Podijeljeni su u tri grupe, također podjednako gledajući spol. Kontrolna grupa sastojala se od 6 ispitanika. Zatim, bila je grupa simbolično nazvana „Kraća“ koja se sastojala od 10 ispitanika, i „Duža“ grupa od 8 ispitanika.

### 6.2. Protokol

Svi ispitanici prolazili su redom zagrijavanje na stacionarnom biciklu, tri vertikalna skoka, vježbe balansa te ponovno tri vertikalna skoka, tim redom. Kontrolna grupa je nakon zagrijavanja samo tri puta skakala. Zagrijavanje je provedeno na stacionarnoj bicikli u prostorijama Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci iz nekoliko razloga. Aktivnost bicikliranja ima znatno manje opterećenje na mišićno-tetivni sustav od npr. trčanja i poskakivanja te tijekom bicikliranja ne dolazi do refleksa istezanja kao kod trčanja koje se pokazalo u sklopu dinamičkog zagrijavanja kao

povoljna metoda za poboljšanje vertikalnog skoka.(84,85) Također, trčanje i poskakivanje izazvalo je smanjenje H-refleksa dok je kod bicikliranja srednjim intenzitetom to smanjenje znatno manje.(86) Dakle, zagrijavanje je trebalo biti niskog intenziteta s ciljem zagrijavanja muskulature prije maksimalnog vertikalnog skoka, a da ima najmanji utjecaj na rezultat vertikalnog skoka. Bicikliranje je izabrano kao najbolja metoda. Zagrijavanje na biciklu trajalo je 10 minuta na niskom do srednjem intenzitetu koji je bio jednak za sve ispitanike, te su ispitanici trebali držati kadencu od 80-90 okretaja u minuti.

Nakon zagrijavanja slijedio je vertikalni skok. Skok se izvodio s mjesta iz uspravnog stava. Tehnika skoka bio je „countermovement jump“. Od ispitanika je zatraženo da iz uspravnog stava naglo čučne u ugodan polučučanj, zamahne rukama prema natrag, te eksplozivno skoči u vis pružajući ruke u zrak. Ispitanici su skakali kraj zida na kojem je bila centimetarska vrpca te tijekom njihovog skoka snimanjem usporenom snimkom zabilježena je visina koju je dosegla ruka bliža zidu, točnije, razina koju je dosegao srednji prst šake. Skok se na isti način izvodio tri puta od čega je uzeta najveća vrijednost.

Nakon skakanja slijedile su vježbe balansa. One su se sastojale od zadržavanja ravnoteže na jednoj nozi na platformi Posturomed, te balansiranja na gumenom jastuku, također jednonožno. Na platformu posturomed pristupalo se iskorakom s nepomične podloge (poda) te balansiranjem tijekom 15 sekundi, nakon čega se ispitanik vratio na nepomičnu podlogu te ponovno iskoračio na platformu drugom nogom. Na gumenom jastuku balansiralo se 30 sekundi nakon čega se mijenjala noga. Program vježbi balansa u „kraćoj“ grupi sastojao se od šest stajanja na platformu Posturomed, svakom nogom po tri puta u trajanju od 15 sekundi te 2 sekunde pauze između serija što je dovoljno da se siđe s platforme i iskorači s drugom nogom. Zatim je ispitanik balansirao 30 sekundi svakom nogom na gumenom jastuku te nakon toga ponovio postupak na Posturomedu od početka programa. Time je ispitanik provodio vježbe balansa ukupno 4 minute. „Duža“ grupa imala je isti redosljed vježbi balansa, samo vježbe su trajale dvostruko duže. Dakle, ispitanici su balansirali na Posturomedu sa 12 stajanja (šest stajanja svakom nogom) u trajanju od 15 sekundi, zatim dva puta svakom nogom po 30 sekundi na gumenom jastuku te ponovno 12 stajanja na posturomedu što čini ukupno vrijeme balansiranja od 8 minuta.

Nakon vježbi balansiranja uslijedila je minuta predaha gdje je ispitanik laganim hodom došao s mjesta gdje se izvode vježbe balansa do mjesta gdje se mjeri vertikalni skok. Uslijedilo je

maksimalno skakanje u vis u tri pokušaja kao i na početku programa. Također je skok sniman usporenom snimkom i uzeta je najveća vrijednost. Time je završio protokol ispitivanja utjecaja vježbi balansa na vertikalni skok.

### *6.3. Statistika*

Rezultati vertikalnog skoka obrađeni su statističkim računanjem u aplikaciji Meta-calculator. Gledane su razlike između skoka prije i nakon vježbi balansa te je razlika računata na razini statističke značajnosti  $P < 0.05$ . Također u obzir su uzeti rezultati tijekom izvođenja vježbi balansa iz platforme Posturomed. Platforma je mjerila ukupni prijeđeni put u dvije dimenzije (po X i Y osi; naprijed-natrag, lijevo-desno). Rezultati su obrađeni u programu Exel te su promatrane razlike između ukupnog prijeđenog puta tijekom balansiranja na početku i kraju programa vježbi balansa. Razlike su također obrađene statističkim računima u aplikaciji Meta-calculator.

## 7. REZULTATI

Rezultati vertikalnog skoka su mješoviti, pokazujući kako su neki ispitanici skočili više nakon vježbi balansa, neki niže dok treći nisu imali razlike u visini skoka nakon treninga balansa. Rezultati od obje grupe te od oba spola pokazuju da razlika između visine skoka prije i poslije treninga balansa nije statistički značajna na nivou značajnosti  $p < 0.05$  („kraća“  $M - p = 0.2402$ ,  $\check{Z} - P = 0.5407$ , ukupna grupa –  $p = 0.0959$ ; „duža“  $M - p = 0.8456$ ,  $\check{Z} - p = 0.5866$ , ukupna grupa –  $p = 0.8893$ ). Iako nije statistički značajno, u „kraćoj“ grupi šest ispitanika od 10 je skočilo više nakon vježbi balansa dok su ostali niže. U „dužoj“ grupi ih je od osam troje skočilo više, dok su ostali niže od kojih jedan ispitanik nije pokazao razliku u visini skoka.

**Tablica 1.** Rezultati visine vertikalnog skoka prije i poslije vježbi balansa.

Kontrolna grupa	M – prije	M – poslije	Ž – prije	Ž – poslije
1.	274,3		254,6	
2.	268		265,8	
3.	280,2		252,2	
„Kraća“				
1.	289	290	257,3	258,3
2.	282	286	272,9	275,4
3.	283	282,8	263	266,4
4.	282,5	288	250,4	248,8
5.	290	289,2	287,3	287
„Duža“				
1.	298,2	306,5	255,8	261,7
2.	290,1	289,1	262,2	265,7
3.	277,5	272,3	261	259,6
4.	283,2	283,3	254	253,3

Osim rezultata o visinama vertikalnog skoka, od velikog su značenja rezultati uspješnosti balansa na platformi Posturomed. Rezultati pokazuju da razlika između prvog seta vježbi na platformi i drugog, u sklopu treninga balansa, je statistički značajna na nivou značajnosti  $p < 0.05$

(„kraća“ –  $p = 0.0311$ ; „duža“ –  $p = 0.0009$ ). Kao što se vidi u rezultatima (tablica 2), gotovo svi ispitanici su značajno smanjili prijeđeni put na platformi u drugom setu vježbi.

**Tablica 2.** Rezultati prijeđenog puta (mm) između prvog i drugog seta vježbi na platformi Bioswing Posturomed.

„Kraća“	M – prije	M – poslije	%	Ž – prije	Ž – poslije	%
1.	6239,73	2716,38	-56,47	3036,50	1613,38	-46,85
2.	2816,29	2403,78	-14,65	5973,82	2748,38	-53,99
3.	3005,30	2463,55	-18,03	1408,59	1662,33	18,01
4.	2730,02	1858,33	-31,93	1970,24	1270,54	-35,51
5.	653,59	885,06	35,4	1100,48	1060,53	-3,65
„Duža“						
1.	8072,95	5360,41	-33,60	7050,06	2990,41	-57,59
2.	7206,62	4653,41	-35,43	4450,86	2643,76	-40,60
3.	5811,99	2554,59	-56,05	2100,12	1716,84	-18,25
4.	1859,60	2056,33	10,58	2251,68	1707,99	-24,15

## 8. RASPRAVA

Većina radova koja je proučavala utjecaj vježbi balansa na vertikalni skok, vježbe je provodila kroz 4 do 12 tjedana, a vrlo malo studija je ispitivalo akutni utjecaj vježbi balansa na vertikalni skok ili proizvodnju snage. Rezultati koje pokazuju te studije i opisuju smanjenje H-refleksa te povećanu mogućnost za jačom mišićnom kontrakcijom i povećanu stopu proizvodnje sile mogle bi objasniti rezultate ispitanika koji su skočili više nakon treninga balansa.(8,11–13,15,22,87)

S druge strane, rezultate koji pokazuju da su ispitanici skočili niže nakon vježbi balansa može objasniti mišićni zamor nastao kao posljedica vježbi balansa koje su se prethodno provodile. (88)

Iz rezultata možemo zaključiti da postoji nekakav utjecaj vježbi balansa odmah nakon što su provedene jer u suprotnom ne bi bilo razlike između visine prvog i drugog skoka. Također, iz ovih rezultata možemo pretpostaviti da trenutni utjecaj vježbi balansa je strogo individualan. Za veće zaključke ovu vrstu istraživanja trebalo bi provesti na većem broju ispitanika.

Doduše, zanimljivi rezultati prikupljeni su s platforme Posturomed koji pokazuju značajno poboljšanje balansa u drugom setu vježbi. Te rezultate mogu objasniti studije koje opisuju trenutno sniženje H-refleksa te modulaciju ekscitabilnosti kako bi se smanjile oscilacije u zglobovima tijekom balansiranja.(11,12) Ovi rezultati daju nadu ovakvom tipu istraživanja te otvaraju put za stvaranje većih i kvalitetnijih istraživanja u području balansa, njegovog akutnog utjecaja i proizvodnje sile.

Iako „duža“ grupa pokazuje veće razlike u prijašnjem putu tijekom vježbi balansa na platformi od „kraće“ grupe, „duža“ grupa je imala lošije rezultate u izvedbi skoka. Tu se opet može pretpostaviti da je jedan od uzroka lošijeg skoka nakon vježbi balansa vrijeme trajanja istih, odnosno mišićni zamor koji se mogao stvoriti više nego kod ispitanika „kraće“ grupe. (88)

Kvaliteta ovog rada može se postići samo drugačijom metodom te vjerujem da bi se rezultati razlikovali. Prvi uočeni problem je ne osiguravanje optimalnog disbalansa kod ispitanika. Kako je Posturomed platforma namještena na srednju razinu težine za sve ispitanike, a netko ima bolji, netko lošiji balans, smatram da taj nivo ometanja balansa u samo dvije osi nije bio dovoljan stimulus za sve ispitanike. Iako su rezultati s Posturomeda vrlo korisni, vježbe balansa su trebale

biti posložene tako da svima budu jednako teške. To bi se možda postiglo provođenjem vježbi samo na gumenim jastucima koji za sve sportaše predstavljaju izazov.

Isto tako je moguće da su ispitanici dosegli razinu umora zbog produljenog trajanja vježbi, a podražaj nije bio dovoljan da se potaknu mogući mehanizmi koji bi prouzročili značajno povećan skok. Kada bi podražaj bio znatno veći, a trajanje vježbi manje, potencijalno bi se mogli vidjeti drugačiji rezultati.

S druge strane, metode mjerenja vertikalnog skoka isto tako mogu biti objektivnije. Jedna od njih je označivanje sacruma kuglicom za snimanje u biomehaničkom laboratoriju, te snimanje skoka u istom. Sacrum pošto je nepomičan, izbjegle bi se neobjektivne oscilacije u skoku koje se mogu dogoditi kada se rukom doseže do neke razine jer ruku ispitanika nekad može više dosegnuti, više se ispružiti u trupu (ili slične kompenzatorne kretnje) dok sam skok ne mora biti viši i tako dati lažno pozitivne rezultate. Ovako bi se objektivno snimila visina skoka nastala čistom proizvodnjom sile mišića nogu (i mišića trupa i ruku ako se radi o CMJ).

Dakle, teorijom i ograničenim razumijevanjem fiziologije, može se pretpostaviti poboljšanje skoka nakon vježbi balansa, no rezultati su ipak mješoviti, radova je malo, a njihove metode također nepotpune. Tako smatram da boljom metodom i većim uzorkom mogu se postići rezultati koji će govoriti puno više.



## 9. ZAKLJUČAK

Ispitivanjem akutnog utjecaja vježbi balansa na vertikalni skok u ovom istraživanju rezultati ne pokazuju statističku značajnost u razlici visine skoka prije i poslije vježbi. Rezultati su doduše mješoviti, što može ukazati na individualnost, nedovoljno objektivnu metodu mjerenja i provedbu istraživanja ili jednostavno da nema utjecaja balansa na skok i da su rezultati nakon vertikalnog skoka slučajni. No, rezultati mjerenja balansa između setova vježbi pokazuju značajno poboljšanje balansa, što može uputiti na trenutno smanjenje H-refleksa što opisuju i potvrđuju ostale studije. Potencijalno poboljšanje vertikalnog skoka može objasniti teorija smanjenja H-refleksa i moduliranog slanja impulsa u mišiće koji izvode pokret, dok lošije rezultate može objasniti akumulirani zamor muskulature. Ovi rezultati omogućuju stvaranje novih ideja za provođenje kvalitetnijih istraživanja ove vrste. Tako, objektivnije bi se trebao osmisliti set vježbi sa jednakim ili približnim podražajem za svakog ispitanika, te mjerenje provoditi u biomehaničkom laboratoriju koji će osigurati točnije rezultate. Dapače, ispitivanje treba provesti na većem broju ispitanika.

## LITERATURA

1. Nashner LM. Practical biomechanics and physiology of balance. In: Balance function assessment and management. 1997. p. 261–79.
2. Hübscher M, Zech A, Pfeifer K, Hänsel F, Vogt L, Banzer W. Neuromuscular training for sports injury prevention: A systematic review. Vol. 42, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Med Sci Sports Exerc; 2010. p. 413–21.
3. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: A systematic review. *Med Sci Sports Exerc*. 2009 Oct;41(10):1831–41.
4. McGuine TA, Keene JS. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am J Sports Med*. 2006 Jul;34(7):1103–11.
5. Boccolini G, Brazziti A, Bonfanti L, Alberti G. Using balance training to improve the performance of youth basketball players. *Sport Sci Health*. 2013 Aug;9(2):37–42.
6. Ziv G, Lidor R. Vertical jump in female and male basketball players-A review of observational and experimental studies. Vol. 13, *Journal of Science and Medicine in Sport*. J Sci Med Sport; 2010. p. 332–9.
7. Heitkamp HC, Horstmann T, Mayer F, Weller J, Dickhuth HH. Gain in strength and muscular balance after balance training. *Int J Sports Med*. 2001;22(4):285–90.
8. Kean CO, Behm DG, Young WB. Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *J Sport Sci Med*. 2006 Mar;5(1):138–48.
9. Gruber M, Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Jun 13;92(1–2):98–105.
10. Gruber M, Gruber SBH, Taube W, Schubert M, Beck SC, Gollhofer A. Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res*. 2007;21(1):274–82.
11. Taube W, Gruber M, Gollhofer A. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. Vol. 193, *Acta Physiologica*. 2008. p. 101–16.
12. 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*. 2007 Dec;28(12):999–1005.
13. Taube W. Neurophysiologische Anpassungen an Gleichgewichtstraining. Vol. 63, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. Dynamic Media Sales Verlag; 2012. p. 273–7.
14. Schubert M, Beck S, Taube W, Amtage F, Faist M, Gruber M. Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. *Eur J Neurosci*. 2008 Apr 1;27(8):2007–18.

15. Llewellyn M, Yang JF, Prochazka A. Human H-reflexes are smaller in difficult beam walking than in normal treadmill walking. *Exp Brain Res.* 1990 Dec;83(1):22–8.
16. JN B, DH P. Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(4):264–75.
17. T B, F B, H Z, A R. Evaluation of sensorimotor training in children with ADHD. *Percept Mot Skills.* 2001;92(1):137–49.
18. MV P, GD M, KR F, TE H. Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2004;34(6):305–16.
19. RK C, A A, J C, L H, B J. Source of improvement in balance control after a training program for ankle proprioception. *Percept Mot Skills.* 2001;92(1):265–72.
20. JA A-M, EM W, LJ H, D F-W. Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9(3):128–36.
21. Yaggie JA, Campbell BM. EFFECTS OF BALANCE TRAINING ON SELECTED SKILLS. Vol. 20, *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2006.
22. Rate of Force Development (RFD) - Science for Sport [Internet]. Dostupno na: <https://www.scienceforsport.com/rate-of-force-development-rfd-2/>
23. S B, N K, A G. The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int J Sports Med.* 2004 Jan;25(1):56–60.
24. W P, C B, W B, K S, A W, W D, et al. A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125(9):614–21.
25. Prevention of noncontact anterior cruciate ligament injuries in elite and adolescent female team handball athletes - PubMed [Internet].
26. Wedderkopp N, Kalsoft M, Holm R, Froberg K. Comparison of two intervention programmes in young female players in European handball – with and without ankle disc. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 Dec 1;13(6):371–5.
27. TA M, JS K. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am J Sports Med.* 2006 Jul;34(7):1103–11.
28. E V, A van der B, J T, L B, R B, W van M. The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *Am J Sports Med.* 2004 Sep;32(6):1385–93.
29. SW S, AL H. Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Phys Ther.* 2007 Feb;87(2):193–207.
30. U G, A G, D S. Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait Posture.* 2006 Dec;24(4):459–66.
31. ME N, JE L, MJ B, A N, C C, D K, et al. The effects of multidimensional home-based

- exercise on functional performance in elderly people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2004;59(2):154–60.
32. MC R, AJ C, MM G, N D. Preventing injuries in older people by preventing falls: a meta-analysis of individual-level data. *J Am Geriatr Soc*. 2002;50(5):905–11.
  33. M B, C T, G A, M S. The posture-related interaction between Ia-afferent and descending input on the spinal reflex excitability in humans. *Neurosci Lett*. 2006 Apr 24;397(3):301–6.
  34. CD T, MG C, A T, SJ G, AG C. Control of the triceps surae during the postural sway of quiet standing. *Acta Physiol (Oxf)*. 2007 Nov;191(3):229–36.
  35. EP Z. Considerations for use of the Hoffmann reflex in exercise studies. *Eur J Appl Physiol*. 2002 Apr;86(6):455–68.
  36. M S. The Hoffmann reflex: a means of assessing spinal reflex excitability and its descending control in man. *Prog Neurobiol*. 1987;28(4):345–76.
  37. P A, EB S, JL A, P M, P D-P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol*. 2002;92(6):2309–18.
  38. IA S, OV K, NB D, YS L, YP I. Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans. *Neurosci Lett*. 2003 Jan 30;337(1):25–8.
  39. DR E, DM K, CW S. Environmental changes in soleus H-reflex excitability in young and elderly subjects. *Int J Neurosci*. 2000;105(1–4):1–13.
  40. JR W, AM T. Activity-dependent spinal cord plasticity in health and disease. *Annu Rev Neurosci*. 2001;24:807–43.
  41. T T, K T, R H, N Y. Disturbed modulation of the stretch reflex gain during standing in cerebellar ataxia. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1991 Dec;81(6):421–6.
  42. MH T, DM K. Effect of a reduced base of support in standing and balance training on the soleus H-reflex. *Int J Neurosci*. 2001;106(1–2):1–20.
  43. RG M, DM K. Down training of the elderly soleus H reflex with the use of a spinally induced balance perturbation. *J Appl Physiol*. 2002;93(1):127–33.
  44. RG M, DM K. Comparison of soleus H-reflex gain from prone to standing in dancers and controls. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1997;105(2):135–40.
  45. M T, DM K, K Y, N S. Age comparison of H-reflex modulation with the Jendrassik maneuver and postural complexity. *Clin Neurophysiol*. 2003 May 1;114(5):945–53.
  46. DM K, RG M. Comparison of heteronymous monosynaptic Ia facilitation in young and elderly subjects in supine and standing positions. *Int J Neurosci*. 2000;103(1–4):1–15.
  47. Nielsen J, Kagamihara Y. The regulation of presynaptic inhibition during co-contraction of antagonistic muscles in man. *J Physiol*. 1993 May 1;464(1):575.
  48. T K, M K, S Y. Posture-dependent modulation of reciprocal inhibition upon initiation of ankle dorsiflexion in man. *Brain Res*. 1998 May 4;792(1):159–63.

49. W T, M S, M G, S B, M F, A G. Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *J Appl Physiol.* 2006;101(2):420–9.
50. R L, C S. Brain regions and genes affecting postural control. *Prog Neurobiol.* 2007 Jan];81(1):45–60.
51. JV J, FB H. Cortical control of postural responses. *J Neural Transm.* 2007 Oct;114(10):1339–48.
52. Facilitatory effect of tonic voluntary contraction on responses to motor cortex stimulation - ScienceDirect [Internet].
53. Nielsen J, Petersen N. Evidence favouring different descending pathways to soleus motoneurons activated by magnetic brain stimulation in man. *J Physiol.* 1995 Aug 1;486(Pt 3):779.
54. H M, J B, N P, LO C, J N. Recruitment of extensor-carpi-radialis motor units by transcranial magnetic stimulation and radial-nerve stimulation in human subjects. *Exp brain Res.* 1999;128(4):557–62.
55. C C, H H, L M, C M, J N, E P-D. Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat. *Exp brain Res.* 1990 Jun;81(1):35–45.
56. N P, LO C, J N. The effect of transcranial magnetic stimulation on the soleus H reflex during human walking. *J Physiol.* 1998 Dec 1;513 ( Pt 2)(Pt 2):599–610.
57. Nielsen J, Petersen N. Is presynaptic inhibition distributed to corticospinal fibres in man? *J Physiol.* 1994 May 15;477(Pt 1):47.
58. W T, M G, S B, M F, A G, M S. Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta Physiol (Oxf).* 2007 Apr;189(4):347–58.
59. V DL, A O, P P, A I, P M, P T, et al. Effects of voluntary contraction on descending volleys evoked by transcranial electrical stimulation over the motor cortex hand area in conscious humans. *Exp brain Res.* 1999;124(4):525–8.
60. T K, MD C, JC R, BL D, PD T, A F, et al. Corticocortical inhibition in human motor cortex. *J Physiol.* 1993 Nov 1;471(1):501–19.
61. O S, J V-S, P S, J R. Reduction of intracortical inhibition in soleus muscle during postural activity. *J Neurophysiol.* 2006 Oct;96(4):1711–7.
62. Sherrington CS. Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. *J Physiol.* 1910 Apr 26;40(1–2):28.
63. SD P, T D. Contributions of the reticulospinal system to the postural adjustments occurring during voluntary gait modifications. *J Neurophysiol.* 2001;85(2):679–98.
64. Beloozerova IN, Sirota MG, Swadlow HA, Orlovsky GN, Popova LB, Deliagina TG. Activity of Different Classes of Neurons of the Motor Cortex during Postural Corrections. *J Neurosci.* 2003 Aug 27;23(21):7844–53.

65. Schubert M, Curt A, Colombo G, Berger W, Dietz V. Voluntary control of human gait: conditioning of magnetically evoked motor responses in a precision stepping task. *Exp Brain Res* 1999 126(4):583–8.
66. Porter R, Lemon R. Corticospinal Function and Voluntary Movement. *Corticospinal Funct Volunt Mov*. 2012 Apr 6;
67. M G, W T, A G, S B, F A, M S. Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle. *J Mot Behav*. 2007 Jan;39(1):68–78.
68. JL J, PC M, JB N. Motor skill training and strength training are associated with different plastic changes in the central nervous system. *J Appl Physiol*. 2005 Oct;99(4):1558–68.
69. Gollhofer A. Proprioceptive Training: Considerations for Strength and Power Production. *Strength Power Sport*. 2008 Jan 21;331–42.
70. FB H, LM N. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*. 1986;55(6):1369–81.
71. M S, S B, W T, F A, M F, M G. Balance training and ballistic strength training are associated with task-specific corticospinal adaptations. *Eur J Neurosci*. 2008 Apr;27(8):2007–18.
72. S B, W T, M G, F A, A G, M S. Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Res*. 2007 Nov 7;1179(1):51–60.
73. V P, N W, SP S. Changes in brain activation during the acquisition of a multifrequency bimanual coordination task: from the cognitive stage to advanced levels of automaticity. *J Neurosci*. 2005 Apr 27;25(17):4270–8.
74. Neurobiol JD-IR, 1997 undefined. Skill learning. [books.google.com](http://books.google.com) [Internet].
75. Y O, H O, E Y, S N, M F. Brain activation during maintenance of standing postures in humans. *Brain*. 1999;122 ( Pt 2)(2):329–38.
76. LM N. Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp brain Res*. 1976 Aug;26(1):59–72.
77. Vertical jump - Wikipedia [Internet].
78. Relationship between strength qualities and performance in standing and run-up vertical jumps - PubMed
79. SM O, M S, Z A. [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Med Pregl*. 2010;63(5–6):371–5.
80. EA H, MT R, PN F, RM R. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(6):825–33.
81. Hill A, Lauder milk D, Choi S-M. The Acute Effects of Different Squat Intensities on Vertical Jump Performance. *Int J Exerc Sci Conf Proc*. 2019 Feb 21;2(11).
82. JM B, KJ A, M D, PG S-A, C H, BA S. Effect of functional isometric squats on vertical jump in trained and untrained men. *J strength Cond Res*. 2010 Sep;24(9):2285–9.

83. Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability - PubMed
84. -ul-Haq F, Yaqoob U, Virk LN, Ali Khan MM. Cycling vs Running – An in-depth analysis. Intern Med Med Investig J. 2018 Sep 9;3(3):90.
85. Hough PA, Ross EZ, Howatson G. Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity. J Strength Cond Res. 2009 Mar;23(2):507–12.
86. Mazzocchio R, Kitago T, Liuzzi G, Wolpaw JR, Cohen LG. Plastic changes in the human H-reflex pathway at rest following skillful cycling training. Clin Neurophysiol. 2006 Aug;117(8):1682–91.
87. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. Vol. 116, European Journal of Applied Physiology. Springer Verlag; 2016. p. 1091–116.
88. Cooper CN, Dabbs NC, Davis J, Sauls NM. Effects of Lower-Body Muscular Fatigue on Vertical Jump and Balance Performance. J strength Cond Res. 2020 Oct 1;34(10):2903–10.

## **PRILOZI**

Prilog A: Popis ilustracija.

### **Slike**

Slika 1. Prikaz različitih rekvizita korištenih za vježbe balansa u nekim studijama.

Slika 2. Adaptacija H-refleksa povezana s 4 tjedna treninga balansa (16 treninga ukupno)

Slika 3. Promjene inducirane treningom kao doprinos direktnih kortikospinalnih puteva tijekom kompenzacije posturalnih ometanja.

Slika 4. Promjene u moždanoj aktivaciji u dva različita stojeća stava.

Slika 5. Pojednostavljena ilustracija adaptacija induciranih treningom balansa tijekom posturalnih zadataka.

Slika 6. Bioswing Posturomed 202.

### **Tablice**

Tablica 1. Rezultati visine vertikalnog skoka prije i poslije vježbi balansa.

Tablica 2. Rezultati prijeđenog puta (mm) između prvog i drugog seta vježbi na platformi Bioswing Posturomed.



## **KRATKI ŽIVOTOPIS**

Zovem se Luka Pandurević, a rođen sam 10. siječnja 2000. godine u Zagrebu, glavnom gradu Hrvatske. Iako rođen u Zagrebu, djetinjstvo sam proveo u Bjelovaru gdje sam također završio osnovnu i srednju medicinsku školu, smjer fizioterapeuskog tehničara. Završetkom srednje škole upisao sam preddiplomski stručni studij fizioterapije na Fakultetu zdravstvenih studija u Rijeci. Bavio sam se taekwondo-om 10 godina, nakon čega sam prešao na rekreativno bavljenje raznim drugim sportovima i tjelovježbom općenito. Tečno govorim engleski jezik, dok iz njemačkog imam osnovno znanje.